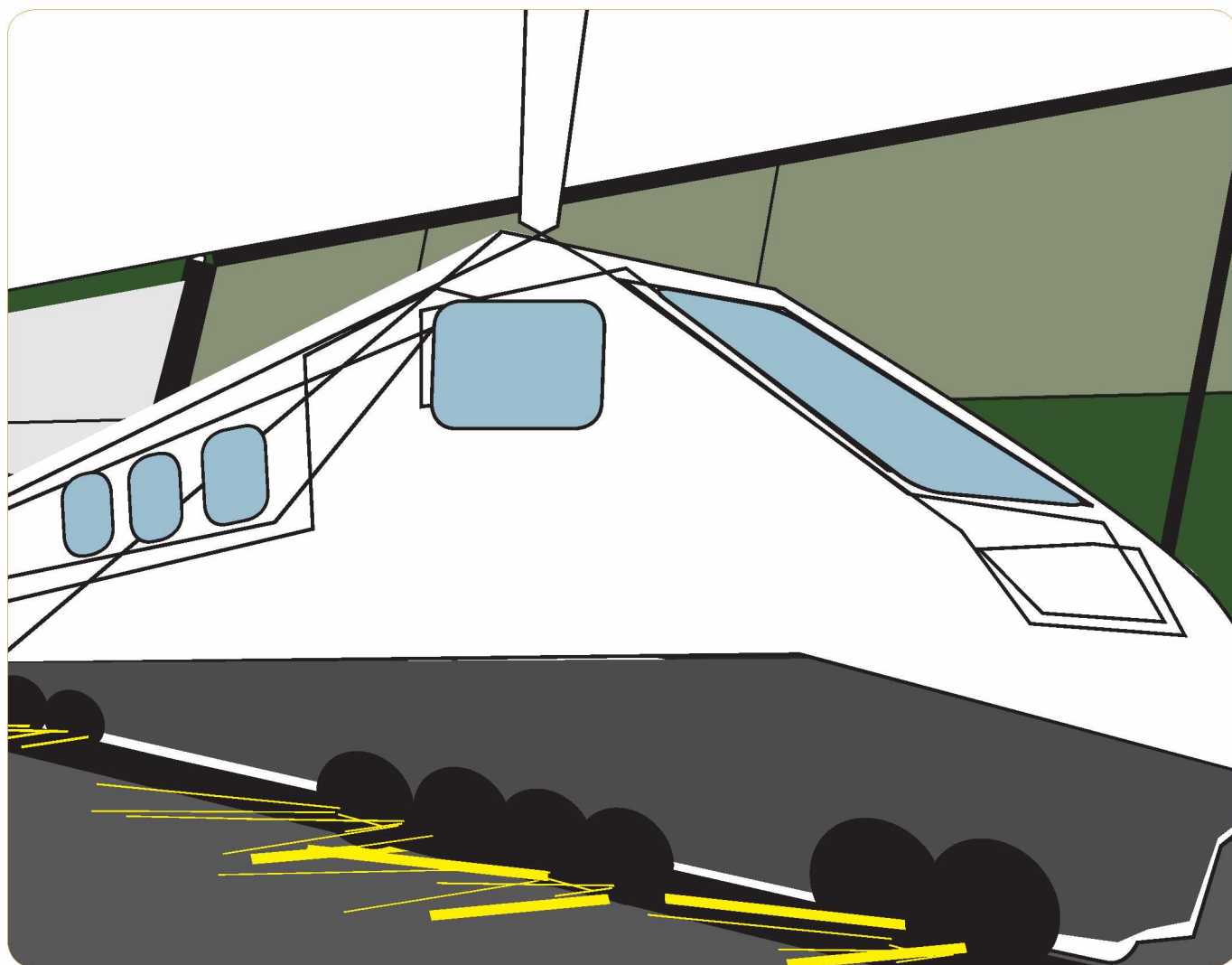


JUHA TERVONEN  
SAARA PEKKARINEN

## Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2009





Juha Tervonen, Saara Pekkarinen

# Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2009

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 58/2011

Liikennevirasto  
Helsinki 2011

*Kannen kuvat: Visual Skilla*

Verkkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-076-7

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

**Juha Tervonen ja Saara Pekkarinen: Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2009.** Liikennevirasto, liikennesuunnitteluosasto. Helsinki 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 58/2011. 54 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-076-7.

**Avainsanat:** ratamaksu, perusmaksu, ratavero, kunnossapito, korvausinvestointi, bruttotonnikilometri, kustannusfunktio, rataosa, rajakustannus

## Tiivistelmä

Liikennevirasto perii valtion rataverkon käytöstä ratamaksua, jonka tekijät ovat perusmaksu ja ratavero. Ratamaksua peritään liikennesuoritteiden eli junaliikenteen bruttotonnikilometrien mukaan. Perusmaksu perustuu direktiivin minimihinnoittelusäädöksiä noudattaen rautatieliikenteen aiheuttamiin kunnossapidon ja korvausinvestointien rajakustannuksiin.

Suomen rataverkolla rajakustannukset on aikaisemmin määritelty vuosien 1997–2005 kustannus- ja liikennemääräaineistoilla. Tässä tutkimuksessa laskentaa laajennetaan vuosien 2006–2009 tiedoilla. Vuoden 2010 hintatasoon kustannusindeksillä muutettu aineisto (1997–2009) ottaa huomioon radanpidon kustannustason kehityksen koko tarkastelujaksolla. Aineisto myös tasoittaa radanpidon rahoituksen verkollisen kohdentumisen sekä liikenteen määrän vuosittaisten vaihtelujen merkitystä.

Tulosten mukaan junaliikenteen rataverkolle aiheuttamat rajakustannukset olivat tavara-liikenteen käyttämille rataosille 0,1779–0,1828 snt/brtkm ja henkilöliikenteen käyttämille rataosille 0,1561–0,1611 snt/brtkm (vuoden 2010 hintatasossa). Rajakustannukset ovat tavaraliikenteelle noin 30 prosenttia ja henkilöliikenteelle noin 20 % nykyisiä perusmaksuja korkeammat. Tavara- ja henkilöliikenteen rajakustannuksissa ilmeni aiempia tutkimustuloksia selkeämpi tasoero.

Laskelmissa radanpidon menoja selittävät kustannusfunktiot toimivat hieman heikommin kuin edellisissä tutkimuksissa. Rataosien liikennesuoritteiden ja rataosille kohdentuneiden radanpidon kustannusten välinen yhteys siis heikkeni. Tämä johtuu siitä, että viime vuosina rahaa on kohdennettu korvausinvestointeina enemmän vähäliikenteisille rataosille, toisin kuin 2000-luvun alkupuolella, jolloin korvausinvestointeja tehtiin enemmän vilkkaammilla rataverkon osilla. Kun rahankäyttö lisääntyy vähäliikenteisillä rataosilla, heikkenee liikennesuoritteiden ja rahankäytön välinen tilastollinen yhteys. Yhteyttä heikensivät myös viime vuosien vaihtelut tavaraliikenteen määrissä ja tavaraliikenteen romahdus lamavuonna 2009.

Perusmaksun tason laskentamenetelmä on joka tapauksessa edelleen toimiva. Vuodesta 2010 eteenpäin tehtävät estimoinnit kertovat, minkälaisena liikennesuoritteiden ja rahankäytön välinen tilastollinen yhteys jatkuu. Taloudellisen laskenta-aineiston kokoamiseen liittyy jatkossa haasteita. Kun kunnossapidon tilaamisessa siirrytään laajempia kokonaisuuksia kattavaan alueurakointimalliin, voi menojen seurannan tarkkuus heikentyä. Tämä seikka tulee ottaa huomioon alueurakoiden tilaamisen ja menojen seurannan kehittämisessä. Muutoin perusmaksun tason laskentamenetelmää on ennen pitkää muutettava.

Työssä todettiin, että rataveron uudelleenarviointi olisi tarpeen. Rataveron tasolle ei ole olemassa selkeitä määritys- ja tarkistamisperusteita. Aikoinaan rataveron tasoon vaikuttaneet ympäristö- ja onnettomuuskustannusten perusteet ovat vanhentuneet. Ratamaksua sääntelevän direktiivin uudistus edellyttäne myös rataveron uudelleenarviointia. Direktiivissä esitetään muun muassa meluhaittojen hinnoittelua junaliikenteen ulkoisten vaikutusten vähentämiseksi.

**Juha Tervonen och Saara Pekkarinen: Marginalkostnader på grund av banslitage 1997–2009.** Trafikverket, trafikplanering. Helsingfors 2011. Trafikverkets undersökningar och utredningar 58/2011. 54 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-076-7.

**Nyckelord:** banavgift, grundavgift, banskatt, underhåll, ersättningsinvestering, bruttotonkilometer, kostnadsfunktion, banavsnitt, marginalkostnad

## Sammanfattning

Trafikverket uppbär för användningen av statens järnvägsnät en banavgift som består av en grundavgift och banskatt. Banavgiften debiteras enligt trafikarbetet, d.v.s. enligt tågtrafikens bruttotonkilometer. Grundavgiften baserar sig på marginalkostnaderna för underhåll och investeringskostnader som järnvägstrafiken åsamkar samt följer direktivets förordningar om minimiprissättning.

Marginalkostnaderna i Finlands bannät har behandlats tidigare enligt kostnads- och trafikmängdsdata från åren 1997–2005. I denna undersökning utvidgas kalkylen med data från åren 2006–2009. Uppgifter (1997–2009), som med kostnadsindex har ändrats enligt prisnivån år 2010, beaktar utvecklingen av banhållningens kostnadsnivå under hela den granskade perioden. Datan jämnar också ut allokeringen av banhållningsfinansieringen på nätnivå samt betydelsen av trafikmängdernas årliga fluktuationer.

Resultaten visar att tågtrafikens marginalkostnader på järnvägsnätet var 0,1779–0,1828 cent/brtkm på de banavsnitt som godstrafiken använder och 0,1561–0,1611 cent/brtkm på de banavsnitt som persontrafiken använder (enligt prisnivån år 2010). Godstrafikens marginalkostnader är ca 30 procent och persontrafikens ca 20 procent större än grundavgifterna. Av gods- och persontrafikens marginalkostnader framgick en tydligare nivåskillnad än i tidigare undersökningsresultat.

Kostnadsfunktionerna som i kalkylerna beskriver banhållningsutgifterna fungerade en aning sämre än i de tidigare undersökningarna. Sambandet mellan trafikarbetet på de olika banavsnitten och banhållningskostnadernas allokering enligt banavsnitt blev således svagare. Detta beror på att pengarna i motsats till början av 2000-talet, då ersättningsinvesteringar gjordes på banavsnitt med livligare trafik, de senaste åren mera har allokerats som ersättningsinvesteringar till lågtrafikerade banavsnitt. När mera pengar riktas till lågtrafikerade banavsnitt försvagas det statistiska sambandet mellan trafikarbetet och användningen av pengar. Sambandet försvagades ytterligare av de stora fluktuationerna i godstrafikmängderna och av godstrafikens nedgång under recessionsåret 2009.

Metoden som används för att beräkna grundavgiftens nivå fungerar i varje fall ännu. Estimeringar som görs från och med år 2010 beskriver hur det statistiska sambandet mellan trafikarbetet och penninganvändningen fortsätter. Sammanställningen av det ekonomiska kalkylmaterialet ställer framdeles utmaningar. När man vid upphandlingen av underhållsarbeten övergår till en områdesentreprenadmodell som täcker större helheter kan noggrannheten vid uppföljningen av utgifterna bli sämre. Denna faktor bör beaktas när man beställer områdesentreprenader och följer upp kostnadsutvecklingen. Metoden för beräkningen av grundavgiften bör för eller senare ändras.

I arbetet konstaterades vikten av att göra en nybedömning av banskatten. Det finns inga tydliga grunder för hur banskatten ska tas ut och justeras. Grunderna för banskattens nivå som tidigare bestämdes enligt miljö- och olyckskostnaderna är föråldrade. Förnyandet av direktivet som stadgar om banavgiften torde också förutsätta att banskatten utvärderas på nytt. I direktivet föreslås bl.a. att tågtrafikens bullerolägenheter ska prissättas för så att de externa konsekvenserna minskar.

**Juha Tervonen and Saara Pekkarinen: Marginal rail infrastructure costs 1997–2009.** Finnish Transport Agency, Transport Planning. Helsinki 2011. Research reports of the Finnish Transport Agency 58/2011. 54 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-076-7.

**Keywords:** infrastructure charge, basic charge, infrastructure tax, maintenance, replacement investment, gross tonne kilometre, cost function, track section, marginal cost

## Summary

The Finnish Transport Agency collects infrastructure charges for the use of the state-owned railway network. The basic charge and the infrastructure tax are collected according to train traffic's gross tonne kilometres. Consistently with the minimum charging principles set out in the directive on railway charging the basic charge is based on marginal costs of maintenance and replacement investments on the railway network.

Finnish marginal costs have been previously estimated with cost and traffic data for 1997–2005. In this study the data is expanded with information for 2006–2009. All cost data is converted to the level of 2010 by the construction cost index. This takes into account the changes in construction cost rates that have taken place during the assessment period. The data also evens yearly changes in budgets and allocations to different parts of the railway network, and changes in traffic on the network.

According to the results marginal costs were 0,1779–0,1828 cents/gross tonne kilometre for lines used by freight traffic and 0,1561–0,1611 cents/gross tonne kilometre for lines used by passenger traffic (in prices of 2010). Compared to the current basic charge marginal costs are 30 percent higher for freight traffic and 20 percent higher for passenger traffic. The difference in marginal cost for freight and passenger traffic is bigger than in earlier studies.

The estimated cost functions performed somewhat weaker now than in earlier studies meaning that the statistical relationship between variable costs and traffic performance was not as strong as before. This is due to relatively more replacement investments allocated to less frequently used lines in the most recent years. In the earlier years busier lines were allocated more money. As a generalisation, when more money is spent on less actively used lines, the statistical relationship between the use of money and the use of the railway network weakens. This development was further strengthened by changes in freight traffic volumes in the most recent year and in particular by the collapse in the recession year 2009.

The methodology for determining the level of the basic charge is still valid. Future estimations will tell how the statistical relationship develops. However, some challenges may rise in collecting cost data. Track-keeping is moving towards larger contracts and contract areas which may decrease the precision of cost follow-ups. This should be taken into account in developing contracting and cost follow-up procedures. Otherwise the methodology for determining the level of the basic charge must be changed.

It was also noticed that the infrastructure tax should be re-evaluated. There are no clearly defined rules for determining and checking its level. The formerly used basis of environmental and accident costs is outdated. Also the on-going renewal of the directive on railway charging is likely to require re-evaluation of the infrastructure tax. Among other things the directive is proposing noise charging for reducing the external costs of railway traffic.

## Esipuhe

Liikennevirasto perii rataverkon käytöstä ratamaksua, jonka tekijät ovat ratamaksun perusmaksu ja ratavero. Perusmaksu perustuu ns. rajakustannukseen, jonka määrittämiseen suomalaiset kustannus- ja liikennemääräaineistot ovat tarjonneet hyvät mahdollisuudet. Tässä selvityksessä on laajennettu aikaisemmin Ratahallintokeskuksessa tehtyjä rajakustannuslaskelmia uusilla, vuodet 2006–2009 kattavilla aineistoilla. Lisäksi on lyhyesti käsitelty rataveroon liittyviä näkökohtia.

Selvityksen ohjausryhmään kuuluivat Liikennevirastosta Harri Lahelma (puheenjohtaja), Anton Goebel, Taneli Antikainen, Jukka Valjakka, Matti Orivuori, Vesa Kärkkäinen ja Marko Tuominen sekä liikenne- ja viestintäministeriöstä Tuomo Suvanto ja Piia Karjalainen.

Selvityksen tekivät KTM Juha Tervonen (JT-Con) ja KTT Saara Pekkarinen (Oulun yliopisto, taloustieteiden tiedekunta).

Helsingissä joulukuussa 2011

Liikennevirasto  
Liikennesuunnitteluosasto



# Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	8
2	RATAMAKSUN YLEISET PUITTEET .....	9
2.1	Direktiivisäätely .....	9
2.2	Suomen ratamaksulainsäädäntö ja ratamaksun taso .....	10
3	LASKENTAMENETELMÄ .....	12
3.1	Menetelmän tausta ja vaiheet .....	12
3.2	Radanpidon kustannusten luokittelu .....	13
3.3	Kustannusfunktio, aineisto ja rajakustannusten laskenta .....	15
3.3.1	Kustannusfunktion määrittely .....	15
3.3.2	Aineiston rakenne .....	16
3.3.3	Cobb-Douglas-kustannusfunktio – poikkileikkausaineisto .....	17
3.3.4	Rajakustannusten laskenta .....	19
3.3.5	Empiiriset panelimallit .....	20
4	AIKAISEMPIA TULOKSIA .....	21
4.1	Suomen tutkimukset .....	21
4.1.1	Kustannusfunktio .....	21
4.1.2	Rajakustannukset .....	23
4.2	Kansainvälisiä tutkimustuloksia .....	25
5	LASKENTA-AINEISTO .....	28
5.1	Rataosat .....	28
5.2	Rataosien liikennesuorite .....	28
5.3	Rataosien ominaisuudet .....	31
5.4	Radanpidon muuttuvat kustannukset .....	33
6	ESTIMOIDUT KUSTANNUSFUNKTIOT SEKÄ RAJAKUSTANNUKSET .....	36
6.1	Yleistä .....	36
6.2	Poikkileikkausaineistot 2006–2009 .....	36
6.2.1	Muuttuvat kokonaiskustannukset .....	36
6.2.2	Kunnossapitokustannukset .....	40
6.3	Paneliaineisto 1997–2009 .....	41
6.3.1	Muuttuvat kokonaiskustannukset .....	41
6.3.2	Kunnossapitokustannukset .....	43
6.4	Ratamaksun tason arviointi .....	44
6.5	Laskennan kehittäminen .....	46
7	RATAVERO .....	49
8	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	51
	LÄHTEET .....	53

# 1 Johdanto

Liikennevirasto perii valtion rataverkon käytöstä ratamaksua, jonka osatekijät ovat perusmaksu, ratavero ja erikseen Kerava–Lahti-rataosalla peritty investointivero. Ratamaksua peritään liikennesuoritteiden mukaisesti. Suoritteita mitataan junaliikenteen bruttotonnikilometreillä.

Tässä raportissa esitetään laskelmat, joiden perusteella voidaan arvioida, onko tällä hetkellä perityn ratamaksun perusmaksun tasoa tarvetta muuttaa. Uusin aineistoin tehtävät laskelmat myös täydentävät aikaisemmin tehtyjä vastaavia tarkasteluja.

Laskelmissa estimoidaan radanpidon muuttuvia kustannuksia (kunnossapito, ylläpitoinvestoinnit ja korvausinvestoinnit) selittävä kustannusfunktio. Kustannusfunktion avulla voidaan edelleen määrittää liikennesuoritteiden aiheuttama radanpidon kustannusten lisäys. Tulos kuvaa, kuinka paljon rataverkolla tapahtuva liikennesuorite (bruttotonnikilometri, brtkm) lisää radanpidon muuttuvia kustannuksia. Tämä tieteellisen näytön pohjalta määritetty koko rataverkon tasolla painotetusti määritetty rajakustannus on ratamaksun perusmaksun tason peruste.

Perusmaksun taso on alun perin johdettu vuosien 1997–1999 poikkileikkausaineistoilla estimoiduista radanpidon kustannusfunktioista (Idström 2002). Rajakustannukset kuitenkin muuttuvat liikennemäärien, radanpidon rahoitustason, rataverkon ominaisuuksien sekä radanpidon kustannustehokkuuden muuttuessa. Tämän vuoksi kustannusfunktion estimointi ja rajakustannuslaskelmat on tehtävä määräajoin uudestaan uusia aineistoja hyödyntäen. Edelleen, kun laskenta-aineistoa kertyy vuosi vuodelta lisää, voidaan tuottaa tuloksia, joihin sisäistyy edellä lueteltuihin tekijöihin liittyvää ajallista vaihtelua.

Kustannusfunktioita ja rajakustannuksia on tarkasteltu alkuperäisen selvityksen jälkeen vuosien 1997–2002 aineistoilla (Tervonen & Idström 2004) ja sitten vuosien 1997–2005 aineistoilla (Tervonen & Pekkarinen 2007). Näiden tarkastelujen perusteella ei nähty tarvetta muuttaa perusmaksun tasoa. Perusmaksun tasoa on korotettu hallinnollisella päätöksellä vuoden 2010 alussa, mutta korotus ei perustunut laskettuihin tuloksiin.

Tämän raportin esittämät uudet laskelmat on tehty vuosien 2006–2009 poikkileikkausaineistoilla sekä poikkileikkausvuodet yhdistämällä muodostetulla vuosien 1997–2009 paneliaineistolla. Radanpidon kustannusfunktioista ja rajakustannusten tasosta saadaan näin uutta näyttöä uusilta tilastovuosilta ja aiempaa laajemman yhdistetyn aineiston mukaisesti.

Raportissa kuvataan radanpidon kustannusfunktion muodostaminen, estimointiaineiston kokoaminen, kustannusfunktion estimointitulokset ja rajakustannusten laskenta tuloksineen. Tulosten perusteella arvioidaan, vastaako nykyinen ratamaksun perusmaksun taso laskettuja rajakustannuksia. Lisäksi arvioidaan perusmaksun tason määrittelymenetelmää ja siihen liittyviä tulevia haasteita. Raportissa tarkastellaan lyhyesti myös rataveron perusteita ja kehittämistarpeita.

## 2 Ratamaksun yleiset puitteet

### 2.1 Direktiivisääntely

Euroopan yhteisön ratamaksuja koskeva lainsäädäntö sallii useanlaisten maksujen perimisen rautatieliikenteeltä. Säännöt on esitetty rautateiden infrastruktuurikapasiteetin käyttöoikeuden myöntämisestä ja rautateiden infrastruktuurin käyttömaksujen perimisestä annetussa direktiivissä (2001/14/EY), jota on myös kutsuttu I rautatiepaketiksi. Rautatiemarkkinoita säänteleviä direktiivejä uudistetaan ja yhdistetään juuri nyt, mutta ratamaksuperiaatteisiin ei ole esitetty perustavanlaatuisia muutoksia.

**Rataverkon käytön hinnoittelu direktiivin 2001/14/EY mukaan** (Liikenne- ja viestintäministeriö 2002)

Rautatieliikenteeltä on perittävä vähintään olemassa olevan rataverkon käytöstä välittömästi aiheutuvat kustannukset (ns. rajakustannukset). Minimihinnoittelun myötä liikennöitsijällä on oikeus palvelupakettiin, johon kuuluvat rataverkon käyttöoikeus sekä niin sanotut vähimmäiskäyttöpalvelut (mm. liikenteenohjaus sekä kytkeytyminen energianjakeluun).

Muita direktiivin sallimia maksuja ovat:

- ympäristöperusteiset maksut
- ratakapasiteetin niukkuusperusteiset maksut
- lisämaksut (*mark-up*) kiinteiden kustannusten kattamiseksi
- investointimaksut
- kapasiteetin varausmaksut sekä
- rautatieliikenteen lisäpalveluista perittävät kustannusperusteiset maksut.

Rautatieliikenteeltä tulee periä vähintään maksu, joka kattaa välittömästi liikennesuoritteista aiheutuvat radanpidon kustannukset. Tätä kutsutaan rajakustannushinnoitteluksi.<sup>1</sup> Rajakustannushinnoittelu ratamaksun perustekijänä puoltaa alhaista ratamaksua ja suosii rautateiden käytön lisäämistä (rataverkon hyödyntämisen tehokkuutta), joka vastaa yleisiä liikennepoliittisia linjauksia.

Minimihinnoittelu takaa radanpitäjälle korvauksen kuitenkin vain vähimmäiskäyttöpalveluiden käytöstä välittömästi seuraavista kustannuksista, ei kiinteistä kustannuksista, joiden määrä on radanpidossa varsin suuri. Rajakustannushinnoittelua sovellettaessa tulee siksi päättää, missä määrin radanpidon kustannuksia katetaan muilla ratamaksutekijöillä ja kuinka paljon radanpidon kustannuksista lopulta katetaan yleisin verovaroin.

Direktiivissä sallitaan radanpidon kiinteitä kustannuksia kattavan lisämaksun periminen. Lisäksi voidaan hinnoitella kapasiteetin niukkuutta sekä ulkoisia kustannuksia (päästöt ja melu). Ratakapasiteettia lisääviä uusinvestointeja voidaan hinnoitel-

---

<sup>1</sup> Rajakustannus on tuotantokustannusten muutos, kun tuotos kasvaa yhdellä yksiköllä; ts. radanpidon kustannusten muutos kun liikenne lisääntyy yhdellä yksiköllä.

la erillisellä investointimaksulla. Eri maksutekijöitä soveltamalla ratamaksulla on siis mahdollista kattaa radanpidon kustannukset täysimääräisesti.

Pääsääntöisesti maksuilla on oltava määritelty yhteys infrastruktuurin tarjonnan ja palvelun tuottamisen kustannuksiin. Kaikki maksut tulee asettaa siten, että nykyisiä ja rataverkolle pyrkiviä uusia liikennöitsijöitä kohdellaan tasapuolisesti. Maksujen tulee olla myös selkeitä ja yksinkertaisia toteuttaa. Maksujen perusteet on voitava tarvittaessa osoittaa niin liikennöitsijöille, valvovalle viranomaiselle kuin komissiolle.

## 2.2 Suomen ratamaksulainsäädäntö ja ratamaksun taso

Suomessa ratamaksua on peritty valtion rataverkon liikenteeltä vuodesta 1990 lähtien. Ratamaksun nykyinen muoto kehitettiin, kun vuonna 2001 Euroopan yhteisössä hyväksyttiin kapasiteetti- ja ratamaksudirektiivi (2001/14/EY). Käyttöön otettiin radanpidon muuttuviin kustannuksiin (radan kulumisen rajakustannukset) ja rautatieliikenteestä muulle yhteiskunnalle aiheutuviin kustannuksiin (päästöt ja onnettomuudet) perustuva ratamaksu (Liikenne- ja viestintäministeriö 2002).

Sittemmin ratamaksu on jaettu perusmaksuun ja rataveroon, ja käyttöön on otettu erillinen Kerava-Lahti-rataosan investointivero (taulukko 1). Vuoden 2010 alusta perusmaksun tasoa korotettiin 10 prosentilla.

*Taulukko 1. Ratamaksu (Liikennevirasto)*

	Snt/bruttotonnikilometri
Perusmaksu	Tavaraliikenne: 0,1350 (ennen korotusta: 0,1227) Henkilöliikenne: 0,1308 (ennen korotusta: 0,1189)
Ratavero	Tavaraliikenne - sähkövetoinen: 0,05 - dieselvetoinen: 0,1 Henkilöliikenne: 0,01
Investointivero (koskee rataosaa Kerava–Lahti)	Tavaraliikenne: 0,5 Henkilöliikenne: 0,5

Perusmaksun ja rataveron perusteet on esitetty rautatielaissa (304/2011), ratavero-laissa (605/2003) ja liikenne- ja viestintäministeriön asetuksessa ratamaksun perusmaksusta (756/2006).

Kuten edellä on todettu, perusmaksu perustuu radanpidon rajakustannuksiin. Ratavero perustuu nykyisin lähinnä kapasiteetti- ja ratamaksudirektiivin lisämaksuun. Investointiveroa peritään kapasiteetin laajentamisesta aiheutuvien kustannusten kattamiseksi.

Liikennevirasto (aiemmin Ratahallintokeskus) perii liikennöitsijältä perusmaksun sekä rata- ja investointiveron.<sup>2</sup> Perusmaksun tuotolla rahoitetaan radanpitoa. Rata-veron tuotto tilitetään valtiovarainministeriölle ja tuotto otetaan huomioon radanpidon budjetoinnissa. Vuosina 2005–2009 perusmaksun tuotto vaihteli välillä 38–43 M€/vuosi. Rataveron tuotto vaihteli välillä 13–17 M€/vuosi.

Investointiveroa peritään Kerava–Lahti-rataosalla 15 vuoden ajan rataosan käyttöönotosta alkaen (vuonna 2006). Investointiveron tuottotavoite on vähintään 4 M€ vuodessa. Rataverolakia säädettäessä tuottojen odotettiin kattavan noin 20 prosenttia rataosan rakentamiskustannuksista. Oikoradan jälkiarvioinnissa tuoton on todettu vastanneen odotuksia liikennöinnin alkuvuosina (Meriläinen ym. 2011).

Ratamaksun vuosittaisista kokonaiskertymistä henkilöliikenteen maksaman ratamaksun osuus on ollut noin neljännes ja tavaraliikenteen noin kolme neljäsosaa. Talouden trendivaihtelut yleensä lisäävät tai vähentävät voimakkaammin tavaraliikenteen määrää ja siten tavaraliikenteen ratamaksutuottoa. Henkilöliikenteessä trendien vaihtelut näkyvät junien täyttöasteen vaihteluina, mutta junien vuoroja ei lisätä tai vähennetä kysynnän vaihteluiden mukaisesti siinä määrin kuin voidaan tehdä tavaraliikenteessä.

Ratamaksun kehittämistä on pohdittu useissa yhteyksissä selvittäen muun muassa ratapihujen liikenteen hinnoittelumahdollisuuksia (Tervonen & Pekkarinen 2007; Mukula & Iikkanen 2010). Uusia maksutekijöitä ei kuitenkaan ole otettu käyttöön.

Ratapihamaksun käyttöönoton haasteiksi on havaittu hinnoiteltavan suoritteiden määrittely ja suorite seurannan kehittäminen sekä ratapihamaksun kustannusperusteen luominen. Ratalinjoilta tuttuja kustannusfunktioiden ja rajakustannuksen laskentaa ei voida siirtää suoraan ratapihoille, vaan ratapihamaksulle tulisi luoda erilliset maksun tason määrittelyperusteet ja -menetelmä.

---

<sup>2</sup> Perusmaksun ja rataveron perintä perustuu liikennöitsijän tekemään suoriteilmoitukseen. Suoritteissa on mukana liikennepaikkojen välinen kaupallinen henkilö- ja tavaraliikenne, jakelu- ja keräilyjunaliikenne, virka- ja työjunien liikenne sekä veturisiirrot. Tavaraliikenteessä ilmoitetaan erikseen sähkö- ja dieselvedon suoritteet.

## 3 Laskentamenetelmä

### 3.1 Menetelmän tausta ja vaiheet

Euroopan komission asiantuntijat linjasivat rautateiden käytön tehokkaan hinnoittelun periaatteita vuonna 1999 julkaistussa menetelmäsuosituksessa (European Commission 1999). Suosituksena oli hinnoitella muuttuvia ja kiinteitä infrastruktuurikustannuksia erikseen. Sitten suositukset vaikuttivat vahvasti kapasiteetti- ja ratamaksudirektiivissä (2001/14/EY) esitettyihin ratamaksun osatekijöitä koskeviin reunaehtoihin.

Radanpidon muuttuviin kustannuksiin perustuvan ratamaksun osatekijän laskentaa alettiin kehittää taloustieteellisin menetelmin (mm. Johansson & Nilsson 2001; Munduch ym. 2002). Pian menetelmä omaksuttiin ja sovellettiin käyttöön Suomessa (Liikenne- ja viestintäministeriö 2002; Idström 2002).

Laskentamenetelmän vaiheet ovat:

- Radanpidon kustannukset jaotellaan lyhyellä aikavälillä liikenteen määrän mukaan muuttuviin kustannuksiin sekä kiinteisiin liikenteen määrän mukaan ei-muuttuviin kustannuksiin.
- Radanpidolle määritetään kustannusfunktio, jossa radanpidon muuttuvien kustannusten määrää ja vaihtelua pyritään selittämään liikenteen määrän ja rataverkon ominaisuuksien mukaisilla muuttujilla.
- Laskenta-aineisto muodostetaan jakamalla rataverkko rataosiin, joille radanpidon muuttuvat kustannukset, liikennesuoritteet sekä rataosien tekniset ja laadulliset ominaisuudet voidaan määrittää yksilöllisesti.
- Kustannusfunktion selittäville muuttujille estimoitavat kertoimet ilmaisevat missä suhteessa radanpidon muuttuvat kustannukset riippuvat liikennesuoritteista ja rataosien ominaisuuksista.
- Liikennesuoritteista välittömästi aiheutuvat radanpidon kustannukset (rajakustannukset) lasketaan derivoimalla estimoitu kustannusfunktio liikenteen määrän suhteen.
- Tuloksena saatavia rataosittain määritettyjä rajakustannuksia voidaan tarkastella suoraan yksittäisillä rataosilla tai painottaen tuloksia erilaisille rataverkon osakokonaisuuksille tai koko rataverkolle.

Menetelmää on sovellettu empiirisesti Suomen lisäksi muun muassa Ruotsissa (Johansson & Nilsson 2001 ja 2004; Andersson 2005, 2006, 2009 ja 2010; Ongaro & Iwnicki 2009), Iso-Britanniassa (Wheat & Smith 2006; Andersson ym. 2010), Itävallassa (Munduch, ym. 2002; Link 2009) ja Sveitsissä (Marti ym. 2009).

Menetelmän soveltaminen edellyttää laadukkaiden aineistojen muodostamista vähintään muutamilta tilastovuosilta. Se on tilastollisen tarkastelun perusedellytys, jotta laskelmille saadaan riittävää todistusvoimaa. Mitä kattavampia aineistoja voidaan hyödyntää, sitä paremmin estimoinneista voidaan saada esille erilaisten selittävien muuttujien merkitys. Edelleen, laajoilla aineistoilla voidaan tutkia erilaisilla

muuttujilla muodostettuja kustannusfunktioita ja tilastollisia malleja. Uusien aineistojen saatavuus on tärkeää ratamaksun ajantasaisuuden arvioimiselle.

## 3.2 Radanpidon kustannusten luokittelu

Euroopan komission asiantuntijoiden mukaan liikenteen määrästä lyhyellä aikavälillä riippuvia radanpidon kustannuksia ovat muun muassa kunnossapito, liikenteenohjaus sekä korvausinvestoinnit. Radanpidon kiinteitä kustannuksia ovat muun muassa maan hankinta, uusien ratojen rakentaminen, laajennusinvestoinnit ja ratojen tasoa parantavat investoinnit sekä hallinto ja muut yleiskustannukset (taulukko 2).

*Taulukko 2. Suositukset radanpidon kustannusten jakamisesta kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin (European Commission 1999)*

<i>Kustannustekijä</i>	<i>Kiinteä</i>	<i>Muuttuva</i>
<i>Maan hankinta</i>	<i>Kyllä</i>	<i>Ei</i>
<i>Uusien ratojen rakentaminen</i>	<i>Kyllä</i>	<i>Ei</i>
<i>Olemassa olevien ratojen tason nosto ja laajentaminen</i>	<i>Kyllä</i>	<i>Ei</i>
<i>Korvausinvestoinnit / Uusiminen</i>		
<i>- perusparantaminen ilman kehittämistä</i>	<i>Osittain</i>	<i>Osittain</i>
<i>- siltojen, tunneleiden, vaihteiden, ja laitureiden suuret korjaukset, jotka tehdään esim. kerran 30 vuodessa</i>	<i>Osittain</i>	<i>Osittain</i>
<i>- siltojen, tunneleiden, vaihteiden, ja laitureiden sekä raiteiden uusiminen, joka palauttaa käyttöarvon ennalleen</i>	<i>Osittain</i>	<i>Osittain</i>
<i>Rakenteiden kunnossapito</i>		
<i>- siltojen, teknisten laitteiden pienet korjaukset</i>	<i>Ei</i>	<i>Osittain</i>
<i>- sepelin puhdistus, tiivistys</i>	<i>Ei</i>	<i>Osittain</i>
<i>Jatkuva kunnossapito ja käyttö</i>		
<i>- talvikunnossapito (vaihteiden puhdistus ja auraus)</i>	<i>Kyllä</i>	<i>Osittain</i>
<i>- raiteiden puhdistus ja kasvustonharvennus</i>	<i>Kyllä</i>	<i>Ei</i>
<i>- tarkastukset</i>	<i>Kyllä</i>	<i>Osittain</i>
<i>- siltojen tukilaattojen, turvalaitteiden huolto</i>	<i>Kyllä</i>	<i>Ei</i>
<i>- liikenteenohjaus</i>	<i>Pääasiassa ei</i>	<i>Kyllä</i>
<i>Hallinto</i>		
<i>- yleiskulut</i>	<i>Kyllä</i>	<i>Ei</i>
<i>- aikataulusuunnittelu</i>	<i>Ei</i>	<i>Kyllä</i>

Rajanveto on monien kustannustekijöiden kohdalla tulkinnanvaraista, ja muuttuvien kustannusten määrittelyyn sekä tietojen koontiin liittyy myös haasteita. Siksi suomalaisissa luokitteluissa ja aineiston kokoamisessa ei noudateta täysin komission asiantuntijoiden suosituksia.

Jotkut radanpidon muuttuvat kustannukset ovat suhteellisesti enemmän esimerkiksi sääolosuhteista ja ajan kulumisesta riippuvia, kun taas osa on enemmän liikenteen määrästä riippuvia. Asiantuntija-arvion mukaan esimerkiksi vaihteisiin ja kiskoihin kohdistuvasta kunnossapidosta 80 prosenttia johtuu liikenteestä, kun taas puupölkkyjen vaihto seuraa 90 prosentin painolla sään ja iän aiheuttamasta haurastumisesta (Idström 2002).<sup>3</sup> Myös lyhyt aikaväli on myös epätarkka käsite. Osa radanpidon toimenpiteistä on lyhyellä aikavälillä toistuvia. Osa toimenpiteistä tehdään määrääjoin teknisten elinkaarten ja saatavilla olevan rahoituksen ehdoilla. Toimenpidekiertojen vaihtelut riippuen siitä, mitkä radan rakenteen osat tai varusteet ja laitteet ovat kyseessä, ja kuinka paljon eri toimenpiteiden ajoituksessa voidaan tavoitella samanaikaisen toteutuksen hyötyjä.

Suomalaisessa rajakustannusten laskennassa selkeästi kiinteiksi tulkitut radanpidon kustannukset rajataan tarkastelusta pois. Jäljelle jäävät radanpidon kustannukset luetaan tarkasteluun mukaan kokonaan tekemättä osituksia muuttuvan ja kiinteän kustannusosuuden suhteen. Radanpitäjän kustannusseurannan menettelyt vaikuttavat myös siihen, minkälaisin jaotteluin radanpidon kustannuksia voidaan käsitellä.

Radanpidon muuttuviksi kustannuksiksi on luettu ratalinjalla tapahtuvat kunnossapidon työt (ml. lumen auraus ja vaihteiden puhdistus sekä kunnon tarkastus ja huolto) sekä ratalinjalla tapahtuvat päällysrakenteen ja liikennettä palvelevien laitteiden ja varusteiden ylläpito- ja korvausinvestoinnit.

Rataverkon käyttöä, liikenteenohjausta ja kulunvalvontaa ei lueta muuttuviin kustannuksiin, koska ne katsotaan liikenteen vaihtelusta vähäisemmän riippuviksi henkilöstö- tai energiakustannuksiksi (esimerkiksi käyttö- ja liikennekeskusten miehitys ja energia sekä vaihteiden lämmitys). Näitä kustannuksia ei voida myöskään kohdentaa rataosille aiheutumisperusteisesti. Hallinto, suunnittelu ja viranomaiskustannukset on myös määritetty kiinteiksi kustannuksiksi tai kustannuksiksi, joita ei kyetä kohdentamaan rataosille. Aikataulusuunnittelu on liikennöitsijän kustannuksia.

Suomelle erityislaatuista ja muista maista poikkeavaa on ollut se, että radanpidon muuttuvat kustannukset on voitu koota ja määrittää noin 90 rataosan erittelynä erikseen kunnossapidolle (peruskunnossapito ja ylläpitoinvestoinnit) sekä korvausinvestoinneille. Tämä sallii kustannusfunktioiden estimoinnin ja rajakustannusten laskennan erikseen pelkille kunnossapidon kustannuksille sekä kunnossapidon ja korvausinvestointien yhdessä muodostamille muuttuville kokonaiskustannuksille.

---

<sup>3</sup> Esimerkiksi Ongaro & Iwnicki (2009) ovat hiljattain selvittäneet erilaisten junatyyppeiden aiheuttamaa teknistä raiteen kulumista Ruotsin rataverkolla.



## 3.3 Kustannusfunktio, aineisto ja rajakustannusten laskenta

### 3.3.1 Kustannusfunktion määrittely

Kustannusfunktion muodostamisen tarkoituksena on luoda matemaattinen malli tekijöistä, jotka selittävät radanpidon kustannuksia ja niiden vaihtelua tilastollisen todistusvoiman kera. Lähtökohtana on valita tarkasteluun tilastoituja muuttujia, jotka oletettavasti selittävät radanpidon kustannuksia. Radanpidon kustannusfunktion määrittelyssä on otettu alun perin mallia Ruotsista (Johansson & Nilsson 2001), mutta kyseessä on kuitenkin varsin tavanomainen kustannusfunktioimuoto.

Kustannusfunktioille on vaihtoehtoisia teoreettisia muotoiluja, jotka perustuvat erilaisiin oletuksiin tuotantoteknologian ominaisuuksista ja sisäisistä riippuvuussuhteista. Tällä tarkoitetaan kuinka joustavasti tuotantopanokset voivat korvata tuotannossa toisiaan.

Yleensä radanpidon kustannusfunktio on estimoitu joko laajempaan translog-kustannusfunktiona, tai kuten Suomessa on tehty, sen rajattuna versiona, eli Cobb-Douglas-kustannusfunktiona (Tervonen & Idström 2004). Eri funktiomuodot voidaan estimoida joko yksittäisten vuosien poikkileikkausaineistoille tai niistä yhdistetyille aineistoille.

Kustannusfunktion määrittelyssä perusoletuksen mukaan radanpidon muuttuvat kustannukset riippuvat lyhyellä aikavälillä ainakin infrastruktuurin määrästä, jota mitataan raidepituudella, sekä liikenteen määrästä, jota mitataan bruttotonneilla. Oletettavasti myös rataverkon tekniset ominaisuudet ja palvelutaso vaikuttavat muuttuviin kustannuksiin.

#### Tuotantoteknologioita kuvaava Cobb-Douglas-kustannusfunktio

Cobb-Douglas-kustannusfunktio kuvaa tuotantokustannukset minimoivaa tuotantoteknologiaa yhden tuotoksen ja kahden tuotantopanoksen tapauksessa. Tuotantopanoksia voidaan korvata keskenään tietyssä suhteessa, jota kutsutaan substituutiojoustoksi. Cobb-Douglas-teknologiassa tämä panosten substituutiojousto on vakio (ykkönen).

Tuotannon vakioiset skaalaedut tarkoittavat sitä, että suhteellinen tuotoksen lisäys saavutetaan lisäämällä sama suhteellinen osuus kaikkien panosten käyttöä (esimerkiksi 1 %). Kokonaiskustannusfunktioita käytettäessä tuotannossa on vakioiset skaalaedut, jos (tuotoksen suhteen lasketun) kustannusjouston käänteisluku on 1.

Tuotoksen kerroin antaa informaatiota teknologian skaalaeduista. Kun kustannusfunktion estimointi tuottaa tuotokselle ykköistä pienemmän kertoimen, vallitsevat tuotannossa kasvavat skaalatuotot. Tällöin lisätuotos vaatii tuotantopanoksia alenevassa suhteessa ja kustannukset kasvavat suhteellisesti hitaammin kuin tuotanto. Cobb-Douglas-kustannusfunktio on järkevä funktiomuotovalinta, jos on syytä olettaa, että radanpidossa vallitsevat kasvavat skaalatuotot. Tutkimukset ovat todistaneet oletuksen paikkansa pitävyyden.

Lähteitä: Christensen ym. (1973), Pollak ym. (1984), Pels & Rietveld (2000) ja McCarthy (2001)

### 3.3.2 Aineiston rakenne

Aineisto kootaan vuosittaisina poikkileikkauksina rataosittain (taulukko 3; vrt. taulukko 9). Kullekin rataosalle määritetään samat perustiedot (radanpidon muuttuvat kustannukset, suoritteet ja rataosien ominaisuudet).

Taulukko 3. Poikkileikkausaineiston rakenne

Havainto	Rataosa	Muuttuvat kustannukset	Brutto- tonnit	Rataosan ominaisuus 1, 2, 3...
1	<i>Helsinki – Pasila</i>	xx	xx	xx
2	<i>Pasila – Hiekkaharju</i>	xx	xx	xx
3	<i>Hiekkaharju – Kerava</i>	xx	xx	xx
4	<i>Pasila – Kirkkonummi</i>	xx	xx	xx
5	<i>Huopalahti – Vantaankoski</i>	xx	xx	xx
6	<i>jne.</i>	xx	xx	xx
...	...	...	...	...
94	<i>Kerava – Lahti</i>	xx	xx	xx
95	<i>Kerava – Vuosaari</i>	xx	xx	xx

Kun poikkileikkaukset estimoidaan yksitellen, oletetaan, että eri vuosina kustannusfunktio on muodoltaan kaikille rataosille sama. Rataosat oletetaan homogeenisiksi ja radanpidon teknologia oletetaan samaksi koko rataverkolla tarkasteluperiodin yli. Vuosiaineistot voidaan yhdistää yhdeksi poikkileikkausajasarjaksi eli paneliaineistoksi (taulukko 4).

Taulukko 4. Esimerkki paneliaineiston rakenteesta

Havainto	Rataosa	Vuosi	Muuttuvat kustannukset	Brutto -tonnit	Rataosan ominaisuus 1, 2, 3...
01-97	Helsinki – Pasila	1997	xx	xx	xx
01-98	Helsinki – Pasila	1998	xx	xx	xx
01-99	Helsinki – Pasila	1999	xx	xx	xx
01-00	Helsinki – Pasila	2000	xx	xx	xx
01-01	Helsinki – Pasila	2001	xx	xx	xx
01-02	Helsinki – Pasila	2002	xx	xx	xx
01-03	Helsinki – Pasila	2003	xx	xx	xx
01-04	Helsinki – Pasila	2004	xx	xx	xx
01-05	Helsinki – Pasila	2005	xx	xx	xx
...	...	...	xx	xx	xx
01-09	Helsinki – Pasila	2009	xx	xx	xx
02-97	Pasila – Hiekkaharju	1997	xx	xx	xx
02-98	Pasila – Hiekkaharju	1998	xx	xx	xx
jne.	jne.	jne.	xx	xx	xx
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
95-09	Kerava – Vuosaari	2009	xx	xx	xx

### 3.3.3 Cobb-Douglas-kustannusfunktio – poikkileikkausaineisto

Radanpidon muuttuvien kustannusten ja sitä selittävien tekijöiden välinen tilastollinen riippuvuus voidaan kuvata jokaiselle tarkastellulle rataosalle ( $i$ ) eri tarkastelu-vuosina ( $t$ ) kustannusfunktiona esimerkiksi näin:

$$C_{it} = g(Y_{it}, U_{it}, Z_{it}, d_{it}, \mathbb{X}_{it}) \quad (1)$$

jossa  $C_{it}$  = radanpidon muuttuvat kustannukset  
 $Y_{it}$  = rataosan raidepituus (km)  
 $U_{it}$  = liikennesuoritteiden määrä rataosalla (bruttotonni)  
 $Z_{it}$  = rataosan laatua kuvaavat muuttujat (esim. vaihteiden lukumäärä, nopeustaso, sähköistys, tekninen laatu tai kuntotila)  
 $d_{it}$  = rataosien välisiä kustannuseroja huomioiva tasomuuttujat  
 $\mathbb{X}_{it}$  = virhetermi ja  
 $g$  = matemaattinen funktiomuoto.

Radanpidon muuttuvat kustannukset voidaan esittää myös yksinkertaistetusti niin sanotussa perustyyppisessä muodossa raidepituuden ja suoritteiden funktiona:  $C = aY^{\beta_y}U^{\beta_u}$ ,  $\beta_y, \beta_u \in (0,1)$ , joka on vakiojoustoinen Cobb-Douglas-kustannus-funktio.

Suomen laskelmissa kaikkia rataosia käsitellään samantasoisena rataverkkona. Toisin sanoen, rataosia ei luokitella palvelutason tai teknisen laadun mukaan. Infrastruktuurin määrää kuvataan rataosan raiteiden yhteenlasketulla pituudella.

Liikenteen määrää käsitellään rataosilla kuljetettuja bruttotonneja. Bruttotonneja käsitellään homogeenisesti, eli huomioon ei oteta eri juna- tai kalustotyyppisiä. Rataosien muita ominaisuuksia on kuvattu eri tutkimuksissa erilaisilla laatumuuttujilla.

Perusmalliksi valittu estimoitava regressioyhtälö on logaritmisessa muodossa:

$$\ln C_{it} = \alpha + \beta_y y_{it} + \beta_u u_{it} + \beta_k d_{it}^k + \varepsilon_{it} . \quad (2)$$

Suomen kustannusaineisto voidaan koota erikseen kunnossapitokustannuksille ja korvausinvestoinneille. Se sallii erilliset kustannusfunktion estimoinnit näille kustannusluokille ja niiden yhdistelmälle.

*Radanpidon muuttuvia kokonaiskustannuksia* (kunnossapito + korvausinvestoinnit) keskeisesti selittävät tekijät ovat raidekilometrien logaritmi  $y$  ja liikenteen määrän (bruttotonnit) logaritmi  $u$ . Virhetermi  $\varepsilon_{it}$  kuvaa selittämättä jäävää kustannusten vaihtelua.

Käytettävissä olevat rataosien laatua tai teknisiä ominaisuuksia kuvaavat muuttujat eivät aikaisemmin ole selittäneet riittävästi radanpidon muuttuvien kustannusten eroja. Rataosien ilmeisten laadullisten erojen sisällyttämiseksi malleihin voidaan muodostaa tasomuuttujia olettaen esimerkiksi, että rataosilta, joilla tehdään isoja korvausinvestointeja, edellytetään parempaa kuntotasoa.

Rataverkon kunnan vaikutus radanpidon muuttuviin kokonaiskustannuksiin on näin ollen otettu joissain malleissa epäsuorasti huomioon korvausinvestointeja kuvaavana tasomuuttujana  $d_{it}^k$ ,  $k = 1$ . Muuttuja saa arvon 1, kun rataosalla on tehty korvausinvestointeja ja muuten arvon nolla (0).

Rataverkon eri osissa liikennesuorite syntyy tavara-, henkilö- ja lähiliikenteen suoritteista, kun taas muuttuvat kokonaiskustannukset kohdistuvat jakamattomina kyseessä oleville rataosille. Siksi tarvittaessa malliin voidaan tuoda tasomuuttuja  $d_{it}^k$ , henkilöliikenteelle  $k=2$  ja taajamaliikenteelle  $k=3$ , tavaraliikenteen toimiessa vertailupohjana.

Regressioyhtälö (2) estimoidaan pienimmän neliösumman menetelmällä (LS)<sup>4</sup>. Estimoidut kertoimet kuvaavat muuttuvien kustannusten joustoa raidepituuden ja liikennesuoritteen suhteen. Tuloksena saatavat selittävien muuttujien  $\beta$  -kertoimet ilmaisevat kunkin muuttujan vaikutusta selitettävään tekijään.

---

<sup>4</sup> Pienimmän neliösumman (OLS tai LS) menetelmä on yleisin lineaarisen regressioyhtälön estimointimenetelmä, joka minimoi otoksen ennustevirheiden neliöiden summan. LS -estimaattori on ns. BLUE (paras, harhaton) -estimaattori, jolla on pienin varianssi (ks. Maddala 1992).

Esimerkiksi, jos rataosan liikennemäärän kerroin  $\beta_u$  on 0,20 se tarkoittaa, että bruttotonnien kasvaessa yhdellä prosentilla radanpidon muuttuvat kustannukset kasvavat 0,2 prosenttia. Vastaava kerroin estimoidaan myös rataosien raidepituuksille.

### 3.3.4 Rajakustannusten laskenta

Kustannusfunktion määrittämisen jälkeen voidaan laskea rataosien kulumisen rajakustannukset rataverkolla kuljetun matkan ja junapainon mukaista suoriteyksikköä kohti. Siihen tarvitaan rataosiin kohdistuneiden junapainojen ja rataosapituuksien mukaiset suorit tiedot, eli bruttotonnikilometrit (*brtkm*). Se voidaan muodostaa kertomalla rataosan bruttotonnit rataosan pituudella, eli  $brtkm_i = L_i \cdot U_i$ .

Olettaen, että rataosan pituus pysyy vakiona, muuttuvien kustannusten funktio voidaan derivoida bruttotonnikilometrien suhteen seuraavasti<sup>5</sup>:

$$\frac{\partial \hat{C}_i}{\partial (L_i \cdot U_i)} = \frac{1}{L_i} \frac{\partial [\exp(\hat{\alpha} + \hat{\beta}_y y_{it} + \hat{\beta}_u u_{it} + d_i^k \hat{\beta}_k + 0.5 \hat{\sigma}^2)]}{\partial U_i} = \hat{\beta}_u \frac{1}{L_i U_i} \cdot \hat{C}_i, \quad (3)$$

jossa mallin antama sovite muuttuville kustannuksille on muotoa

$$\hat{C}_i = \exp(\hat{\alpha} + \hat{\beta}_y y_{it} + \hat{\beta}_u u_{it} + d_i^k \hat{\beta}_k + 0.5 \hat{\sigma}^2) \quad (4)$$

ja  $\hat{\sigma}^2$  on mallin virhetermin varianssin estimaatti (ks. Munduch ym. 2002).

Rajakustannukset voidaan nyt laskea kaavasta

$$MC_i = \hat{\beta}_u \frac{\hat{C}_i}{brtkm_i}. \quad (5)$$

Yllä esitetyllä tavalla saadaan arvio siitä, kuinka paljon muuttuvia kustannuksia aiheutuu yhtä etäisyysperusteista suoriteyksikköä (*brtkm*) kohti kullakin rataosalla *i*.

Rataosittain rajakustannukset (snt/*brtkm*) vaihtelevat runsaasti (jopa monikymmenkertaisesti), joten on mielekäästä johtaa painotettu rajakustannus esimerkiksi koko rataverkolle. Painokertoimena käytetään rataosan suhteellista osuutta koko rataverkon liikennemäärästä, eli  $w_i = brtkm_i / \sum_{i=1-95} (brtkm_i)$ .

Painotettu koko rataverkon rajakustannus lasketaan seuraavasti:

$$\overline{MC} = \sum_i \hat{\beta}_u \left( \frac{\hat{C}_i}{brtkm_i} \right) * w_i = \sum_i MC_i * w_i \quad (6)$$

eli koko rataverkon keskimääräinen rajakustannus on rataosittaisten painotettujen rajakustannusten summa.

---

<sup>5</sup> Eksponenttifunktion ja logaritmifunktion derivointisäännöt: Eksponenttifunktion  $e^{f(u)}$  derivaatta  $U$ :n suhteen on  $f'(U) e^{f(u)}$  Logaritmifunktion  $u_{it} = \ln U_{it}$  derivaatta  $U_{it}$ :n suhteen on  $\frac{\partial \ln U_{it}}{\partial U_{it}} = \frac{1}{U_{it}}$ .

Rajakustannusten painotetun arvon katsotaan soveltuvan koko rataverkon tasolla yhtenäisesti tapahtuvaan liikennesuoritteiden hinnoitteluun (ks. esim. Johansson & Nilsson 2004). Laskentamenetelmä tosin sallisi rataverkon käytön hinnoittelun vaikka rataosakohtaisesti tai erilaisina rataverkon osakokonaisuuksina.

Rajakustannuksia ei kuitenkaan voida aineiston muodostukseen liittyvistä syistä laskea erikseen eri kalusto- tai liikennetyypeille. Se edellyttäisi, että voitaisiin koota aineistoa rajatusti sellaisilta rataosilta, joilla on vain tietyn tyyppisellä kalustolla hoidettua liikennettä. Suomen rataverkolla ei ole montaa rataosaa, joilla kulkisi pelkästään henkilöliikenteen junia. Yksinomaan tavaraliikenteen rataosia on kyllä paljon, mutta niistä monet ovat varsin vähäliikenteisiä tai liikenne vaihtelee vuodesta toiseen paljon. Riittävää laskenta-aineistoa ei siis voida muodostaa pelkästään henkilöliikenteen junien tai pelkästään tavaraliikenteen junien aiheuttamien rajakustannusten tarkasteluun.

### 3.3.5 Empiiriset panelimallit

Paneliaineistolla tarkoitetaan aineistoa, jossa yhden vuoden rataosittaiset tiedot yhdistetään yli koko tarkasteluperiodin. Radanpidon kustannusfunktion muoto on sama kuin edellä esitetty. Estimoitava yhtälö kuitenkin poikkeaa oletuksien osalta, joita tehdään kustannusvaihtelusta rataosien välillä ja vuosien kesken.

*Yksisuuntaisten kiinteiden vaikutusten* (one-way fixed effects) malli olettaa, että joko poikkileikkausaineistojen havaintoyksiköillä eli rataosilla  $i$  on kustannuksiin liikennesuoritteesta tai raidepituudesta riippumaton yksilöllinen vaikutus  $\alpha_i$ . Jos tarkasteluvuosiin liittyy tekijöitä, joilla on vaikutus muuttuviin radanpidon kustannuksiin raidepituudesta ja liikennesuoritteesta riippumatta, otetaan se huomioon lisäämällä malliin tekijä  $v_t$  (ks. yhtälö 7). Rajakustannusten laskentaan vaikuttavien selittävien tekijöiden kertoimet ovat samat kaikille rataosille ja vuosille. (Kennedy 2004, 300–315)

*Yksisuuntaisten satunnaisvaikutusten* (one-way random effects) mallissa estimoidaan satunnaismuuttuja, joka voi olla riippuvainen joko rataosien välisestä kustannusten vaihtelusta tai niiden vaihtelusta yli ajan. Tämä satunnaismuuttuja noudattaa normaalijakaumaa, jonka keskiarvo on nolla ja varianssi äärellinen vakio. Toisin sanoen, selittämättä jäävästä vaihtelusta, joka kuvautuu mallin virhetermiin, osa pystytään vangitsemaan. Sen pitäisi parantaa selittävien muuttujien kertoimien tarkkuutta ja malli istuu täten paremmin aineistoon.

Radanpidon muuttuvien kustannusten perustyyppinen panelimalli voidaan esittää seuraavasti:

Rataverkkoon liittyvä vakio  $d^k$ :

$$\text{Panel LS } \ln C_{it} = \alpha + \beta_y y_{it} + \beta_u u_{it} + \beta_k d_{it}^k + \varepsilon_{it}$$

Kiinteä tarkasteluvuoteen liittyvä vaikutus  $v_t$ :

(7)

$$\text{Panel EGLS } \ln C_{it} = \alpha + \beta_y y_{it} + \beta_u u_{it} + \beta_k d_{it}^k + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} = v_t + g_{it}$$

## 4 Aikaisempia tuloksia

### 4.1 Suomen tutkimukset

#### 4.1.1 Kustannusfunktio

##### *Muuttuvat kokonaiskustannukset*

Radanpidon kustannusfunktioita estimoitiin ja radan kulumisen rajakustannuksia laskettiin alkuperäisessä tutkimushankkeessa vuosien 1997–1999 aineistoilla (Idström 2002). Seuraavassa tutkimushankkeessa aineistoa täydennettiin vuosien 2000–2002 tiedoilla (Tervonen & Idström 2004) ja sitä seuraavassa tutkimushankkeessa vuosien 2003–2005 tiedoilla (Tervonen & Pekkarinen 2007).

Jokaisessa tutkimushankkeessa laskelmat on tehty vuosittaisilla poikkileikkausaineistoilla. Viimeisimmässä tutkimushankkeessa poikkileikkauksista muodostettiin ja estimoitiin myös paneliaineistoja (Tervonen & Pekkarinen 2007).

Poikkileikkaustarkasteluissa (1997–2005) kustannusfunktion estimoinnin mukaan radanpidon muuttuvia kokonaiskustannuksia ovat parhaiten selittäneet raidepituus, liikenteen määrä (bruttotonnit) sekä korvausinvestointien tasomuuttuja (taulukko 5).

Bruttotonnimuuttujan saaman arvon mukaan rataosien käytön yhden prosentin lisäys lisäsi radanpidon muuttuvia kustannuksia poikkileikkausvuodesta riippuen 0,13–0,32 prosenttia. Tämän niin sanotun jouston mukaan radanpidon muuttuvat kustannukset lisääntyvät suhteellisen vähän liikenteen määrän lisääntyessä.

Raidepituuden ja radanpidon muuttuvien kokonaiskustannusten välinen suhde on sen sijaan lähes suora (muuttujan/jouston arvo 0,70–0,99). Korvausinvestointien suuri painoarvo radanpidon muuttuvissa kustannuksissa näkyy korvausinvestointien tasomuuttujan saamissa arvoissa.

Mallien selitysasteet vaihtelivat poikkileikkauksissa, ollen useimpina vuosina 50 %:n paremmalla puolen.<sup>6</sup> Mallien selitysaste yleensä paranee kun joitain muusta aineistosta selvästi poikkeavia rataosia jätetään tarkastelusta pois. Poikkeavuudet johtuvat yleensä tilastoinnin puutteista ja/tai rataosan säännöllisen käytön sekä ylläpidon hiipumisesta.

Paneliaineistot antoivat kutakuinkin samanlaiset tulokset malleille ja muuttujille (taulukko 6). Bruttotonnien ja raidepituuden joustot olivat hieman alhaisemmat

---

<sup>6</sup> Selitysaste kertoo, kuinka paljon mallin selittävät muuttujat kykenevät yhdessä selittämään selitettävän muuttujan (radanpidon muuttuvat kustannukset) vaihtelua. Selitysaste yleensä kasvaa lisättäessä malliin muuttujia. Toisaalta teoreettisesti valitun mallin muuttujien kertoimet voivat olla ei-merkitseviä ja mallin selitysaste alhainen (Wooldridge 2010). Selitysasteelle ei ole suoranaisia kynnyksiarvoja ja selitysasteen merkitys riippuu aina mitattavasta ilmiöstä. Vähintään yhtä tärkeää on siis löytää malliin selittävät muuttujat, joiden merkitsevyystaso on hyvä (esimerkiksi vähintään  $p < 0,005$ ). Nyt käytetty mallin selityskyvyn mittari (selitysaste – adjusted  $R^2$ ) on yksi monista erilaisten tilastollisten mallien toimivuutta kuvaavista mittareista.

kuin poikkileikkaustarkasteluissa yleensä. Uusien vuosien liittäminen aineistoon ja aineiston koon kasvu (1997–2002 sekä 1997–2005) ei juuri vaikuttanut tuloksiin.

*Taulukko 5. Poikkileikkauksina estimoidut muuttuvien kokonaiskustannusten funktiot 1997–2005 (Tervonen & Idström 2004; Tervonen & Pekkarinen 2007)*

Vuosi	Selitysaste	N	Vakio	Brutto- tonnit	Raide- pituus	Korvaus- investointien taso
1997	56 %	91	6,30	0,29	0,95	1,19
1998	48 %	91	6,77	0,32	0,77	1,02
1999	42 %	91	6,63	0,28	0,91	1,13
2000	51 %	90	4,48	0,29	0,90	1,14
2001	56 %	86	4,59	0,27	0,99	1,12
2002	51 %	88	4,59	0,27	0,96	0,95
2003	61 %	86	7,70	0,16	0,79	0,76
2004	56 %	86	8,45	0,13	0,70	1,05
2005	61 %	86	5,79	0,21	0,99	0,95

*Taulukko 6. Paneliaineistoilla estimoidut muuttuvien kokonaiskustannusten funktiot 1997–2002/2005 (Tervonen & Pekkarinen 2007)*

Malli	Aineisto- vuodet/ esti- mointi- menetelmä	Selitysaste	N	Vakio	Brutto- tonnit	Raide- pituus	Korvaus- investointien taso
1	1997–2002, Panel LS	53 %	535	6,67	0,20	0,86	0,9857
2	1997–2002, Panel LS	51 %	510	6,56	0,20	0,87	1,0226
3	1997–2005, Panel LS	53 %	773	6,81	0,19	0,86	0,9758
4	1997–2005, Panel LS	56 %	808	7,01	0,18	0,85	0,9605
5	1997–2005, Panel EGLS	56 %	808	6,96	0,18	0,86	0,9550



### *Kunnossapidon kustannukset*

Pelkille kunnossapitokustannuksille muodostetussa mallissa vuosille 2003–2005 estimoitu jousto bruttotonnien suhteen oli 0,12–0,18 (taulukko 7). Kustannusjousto raidepituuden suhteen oli 0,72–0,93.

Kunnossapitokustannuksista laskettu bruttotonnien kustannusjousto on kutakuinkin samaa tasoa kuin muuttuvilla kokonaiskustannuksilla laskettu jousto (vrt. taulukko 5). Raidepituuden vaikutus kunnossapitokustannuksiin ei sen sijaan ole aivan yhtä suuri kuin sen vaikutus muuttuviin kokonaiskustannuksiin.

Jossain kunnossapitokustannusten malleissa on myös vaihteiden lukumäärälle saatu selityskykyä, mutta ei systemaattisesti, ja muiden muuttujien kustannusjoustot alenivat tällöin selvästi.

*Taulukko 7. Estimoidut kunnossapitokustannusten funktiot 2003–2005, LS (Tervonen & Pekkarinen 2007)*

Vuosi	Selitysaste	N	Vakio	Bruttotonnit	Raidepituus	Ylläpitoinvestointien taso
2003	55 %	86	7,5095	0,1589	0,7214	0,4261
2004	58 %	86	7,4718	0,1179	0,8767	0,4423
2005	69 %	86	6,3974	0,1778	0,9283	0,4512

### **4.1.2 Rajakustannukset**

#### *Muuttuvat kokonaiskustannukset*

Poikkileikkauksina estimoiduista kustannusfunktioista lasketut rataosien liikenteen määrän mukaan painotetut rajakustannukset olivat vuodesta riippuen 0,0641–0,1341 snt/brtkm (taulukko 8). Tulokset on esitetty poikkileikkausvuosien nimellisin hinnoin. Nimellishintaisessa tarkastelussa rajakustannukset alenivat selvästi 2000-luvun alkuvuosina, nousten taas vuonna 2005. Vaihtelu selittyy voimakkaimmin radanpidon rahoitustason vaihteluilla.

Vuosien 1997–2002/2005 paneliaineistosta laskettu painotettu rajakustannus oli panelin koosta ja mallista riippuen 0,099–0,12 snt/brtkm (vuoden 2005 hinnoissa).

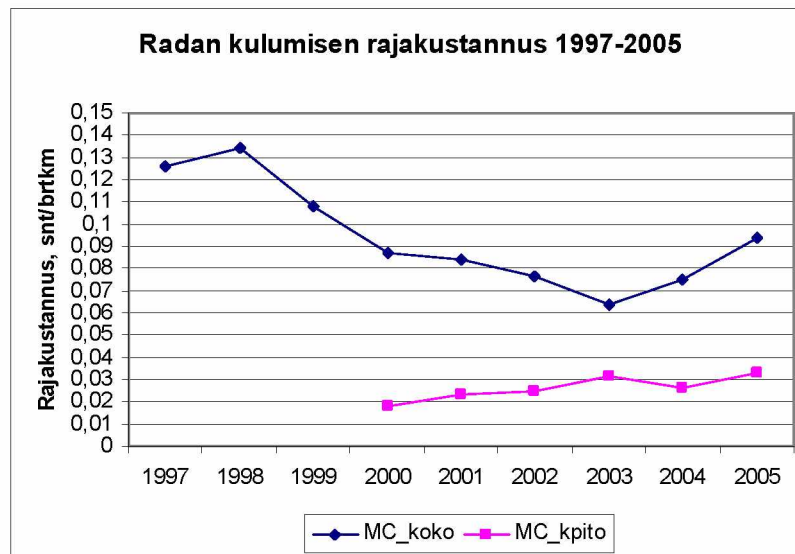
*Taulukko 8. Painotettu rajakustannus 1999–2005, muuttuvien kokonaiskustannusten aineisto (nimellisin hinnoin; Tervonen & Idström 2004; Tervonen & Pekkarinen 2007)*

Vuosi	snt/brtkm
1997	0,1263
1998	0,1341
1999	0,1077
2000	0,0873
2001	0,0840
2002	0,0766
2003	0,0641
2004	0,0747
2005	0,0936

#### *Kunnossapidon kustannukset*

Pelkistä kunnossapitokustannuksista lasketut koko rataverkon painotetut rajakustannukset olivat vuosien 2003–2005 poikkileikkaustarkasteluissa nimellisin hinnoin 0,026–0,033 snt/brtkm (Tervonen & Pekkarinen 2007). Kunnossapitokustannusten rajakustannukset ovat siis alhaisimmillaan noin kolmasosa ja enimmillään noin puolet vastaavien vuosien muuttuvien kokonaiskustannusten rajakustannuksista.

Kuvassa 1 esitetään yhteen vetäen painotettujen rajakustannusten suuruus eri poikkileikkausvuosina sekä muuttuvien kokonaiskustannusten perusteella laskettuna että erikseen pelkästään kunnossapitokustannuksille laskettuna. Muuttuvista kokonaiskustannuksista laskettu rajakustannus (MC\_koko) vaihteli tarkastelujaksolla varsin paljon, pääosin korvausinvestointien rahoitustason vaihtelun vuoksi. Kunnossapitokustannusten osalta painotettu rajakustannus (MC\_kpito) ei vaihdellut yhtä paljon, mutta sen arvo nousi tarkastelujaksolla (2000–2005) nimellisin hinnoin tarkasteltuna noin kaksinkertaiseksi.



Kuva 1. Rajakustannukset 1997–2005 (snt/brtkm, nimellisin hinnoin); muuttuvat kokonaiskustannukset ja erikseen pelkät kunnossapitokustannukset (Tervonen & Pekkarinen 2007)

## 4.2 Kansainvälisiä tutkimustuloksia

Aikaisemmissa ratamaksuselvityksissä on kuvattu ennen vuotta 2005 tehtyjä kansainvälisiä radanpidon kustannusfunktioiden estimointitutkimuksia ja rajakustannuslaskelmia (Tervonen & Idström 2004; Tervonen & Pekkarinen 2007). Alan perusteellisimmat tutkimukset on tehty Itävallassa ja Ruotsissa (Suomen ohella). Suomesta poiketen muissa maissa on estimoitu radanpidon kustannusfunktioita yleensä vain kunnossapidon kustannuksille, ja harvemmin yhdessä (tai erikseen) korvausinvestointien kustannuksille.

Sittemmin samoissa maissa sekä uusina kohdemaina Iso-Britanniassa ja Sveitsissä vastaavia tutkimuksia on tehty lisää, mutta tutkimusmenetelmät eivät ole muuttuneet merkittävästi. Tutkimustyö on liittynyt muun muassa aineiston määrän lisääntymiseen ja laadun parantamiseen sekä estimointimenetelmän yksityiskohtien kehittämiseen. Merkittävä tutkimuskokonaisuus, josta useimmat nyt mainitut lähteet ovat peräisin, on Euroopan komission CATRIN-hanke (Cost Allocation of TRansport Infrastructure Costs; [www.catrin-eu.org](http://www.catrin-eu.org)).

Wheat & Smith (2006) esittää ensimmäisen perusteellisemmän Iso-Britannian rataverkolle tehdyn kustannusfunktioiden estimoinnin ja rajakustannusten laskennan. Rajakustannusten tuntemukselle on tarvetta siksi, että Iso-Britannian rataverkolla on kilpailun vapauduttua mahdollista päästä liikennöimään yksinomaan radanpidon muuttuviin kustannuksiin perustuvalla ratamaksulla (open access operators). Ratamaksun taso on kuitenkin asetettu teknisesti määritetyn liikennesuoritteiden ja radanpidon kustannusten välisen aiheutumissuhteen mukaisesti (ns. insinööriperuste), ei taloustieteellisen rajakustannusteorian mukaan.

Lähteen kuvaamat estimoinnit on tehty kahden vuoden (2005 ja 2006) aineistoilla, jotka kattavat 53 kunnossapitoalueen (Network Rail:n rataverkko) tasolla saatavissa

olleet kunnossapitokustannukset sekä eräät muut aluetasolla eriteltyt kustannukset. Palkkakustannuksista muodostettiin erillinen ulkoinen muuttuja. Liikennesuoritteita mitattiin juna- ja tonnimaileilla sekä junatiheyden ja junapainon mittareilla (junamailia per raidemailit sekä junien keskipaino). Kunnossapitoalueiden teknisiä ominaisuuksia mitattiin raide- ja rataosapituuksilla (per raidetyyppi), enimmäispainoilla ja -nopeuksilla, liikenteenohjausvalojen tyypillä, sähköistyksellä ja raiteiden iällä.

Estimoiduissa malleissa radanpidon kustannuksia selittivät selvimmin rataosien pituus, junaliikenteen tiheys, junien keskipainot sekä palkkakustannusten nousu. Raiteiden laatua kuvaavat muuttujat eivät sen sijaan selittäneet kustannuksia kovin hyvin. Raiteiden ikääntymisen havaittiin jopa vähentävän kustannuksia, jonka oletettiin johtuvan siitä, että korvausinvestointivaiheeseen pian tulevan radan kunnossapitoa vähennetään. Eri malleista lasketut keskimääräiset rajakustannukset vaihtelivat välillä 0,09–0,25 snt/brtkm, tuloksen vaihdellessa huomattavasti eri alueilla ja liikenteen eri segmenteissä.

*Andersson (2009)* estimoi Ruotsin rataverkon kunnossapitokustannusten kustannusfunktioita ja rajakustannuksia tavarajunien ja henkilöliikenteelle sekä yhteis- että erilliskäytössä olevilta raiteilta. Oletuksen mukaan henkilö- ja tavarajunien paino-, akselirakenne- ja nopeuserojen vuoksi ne aiheuttavat radan kulumista eri tavoin. Siksi nykyisen molemmille liikenteen tyypeille samansuuruinen rajakustannusperusteinen ratamaksu on oletuksen mukaan väärä. Aineisto koostui neljän vuoden (1999–2002) tiedoista (185 rataosaa).

Tulosten mukaan tavarajunien rajakustannukset ovat yleensä alhaisemmat kuin henkilöjunien, ja siksi tasapäisessä ratamaksussa tavaraliikennettä ylihinnoitellaan ja henkilöliikennettä alihinnoitellaan. Ennako-odotusten vastaisesti henkilöliikenteen tavaraliikennettä korkeampia rajakustannuksia selitettiin sillä, että radanpidon toimenpiteitä painotetaan varsinkin nopean henkilöliikenteen käyttämillä rataosilla, kun taas tavaraliikenteen yksinomaan käyttämillä syrjäisemmällä rataosilla toimenpiteitä on suhteessa vähemmän.

*Andersson (2010)* on käsitellyt radanpidon muuttuvien kustannusten ajallista dynamiikkaa Ruotsin neljän vuoden aineistolla (1999–2002). Oletuksen mukaan kunnossapidon menot pienenevät sellaisella rataosalla, joka on tulossa korvausinvestointeja edellyttävään ikään (kuten myös brittien tutkimuksessa edellä todettiin). Edelleen, liikenteen määrän ja radanpidon toimenpiteiden määrän välillä on aina oletettu olevan ajallinen viive. Toisin sanoen, tietty määrä radan kulumista tapahtuu ennen kuin korjaavia toimenpiteitä käynnistetään. Mikäli nämä viiveet (siis radanpitäjän suunnitelmat) ovat mallinnettavissa estimoinnissa, olisi myös ratamaksun taso mahdollisesti määritettävissä eteenpäin katsovalla tavalla (vs. nykyinen tapa mallintaa jo toteutuneita menoja). Lähteessä kuitenkin todetaan sovelletun aikasarja-aineiston olevan liian lyhyt ajallisen dynamiikan mallintamiseen tilastollisesti vahvalla tavalla. Jatko-tutkimuksia suositellaan sekä uuden aineiston karttuessa, että koostamalla vuosia-aineistoja mahdollisuuksien mukaan lisää myös menneiltä vuosilta.

*Andersson ym. (2010)* pohti korvausinvestointeja erillisenä kysymyksenä tekemällä pelkästään korvausinvestointimenoihin perustuvia mallinnuksia 11 vuoden (1999–2009) aineistolla Ruotsin rataverkolta. Siinä missä kunnossapidon menot ovat eri tarkasteluvuosina ja eri rataverkon osilla määrällisesti vakaammat ja havainto kunnossapidon menoista on ylipäätään aina tehtävissä, ovat korvausinvestoinnit kasautuvia menoja, joista joinakin vuosina on havainto ja toisina vuosina taas ei. Tämä on haas-

tavaa regressiomalleihin perustuvien kustannusfunktioiden estimoinneille siksi, että selitettävää muuttujaa koskeva havainto (korvausinvestointien määrä) on nolla niinä vuosina kun korvausinvestointeja ei ole tehty.

Tulosten mukaan pelkästään korvausinvestoinneille estimoidussa kustannusfunktiossa korvausinvestointien ja rataosan käytön (bruttotonnikilometri) välinen jousto on 0,55. Se on korkeampi kuin mitä sikäläisissä estimoinneissa on saatu tulokseksi pelkille kunnossapidon kustannuksille (0,20–0,35). Tulos vastaa ennako-odotuksia, jonka mukaan korvausinvestoinnit ovat kunnossapidon menoja enemmän liikenteen määrästä riippuvia. Pelkästään korvausinvestoinneille estimoitu keskimääräinen rajakustannus oli 0,10 snt/brtkm. Jatkossa suositellaan tutkittavan muun muassa rataverkon eri osilla kumuloituvaa liikenteen määrää, joka käynnistää korvausinvestoinnit.

*Marti ym. (2009)* estimoi radanpidon kustannusfunktioita Sveitsin rataverkolla viiden vuoden (2003–2007) ja noin 500 rataosan aineistolla. Kustannusaineisto kattoi kunnossapidon ja käytön kustannuksia sekä korvausinvestointityyppejä kustannuksia. Kustannusfunktioissa käytettiin muista maista tuttuja selittäviä muuttujia (rataosan raidepituus, suoritteet ja nopeustaso) mutta myös Sveitsin rataverkolle ominaisia muuttujia, jotka kuvaavat raiteiston kaltevuuksia ja kaarteisuuksia sekä siltojen ja tunnelien määrää.

Muuttuvien kokonaiskustannusten mukaan laskettu rajakustannus oli noin 0,11 snt/brtkm (0,00135 CHF) mallista (Box-Cox tai log-linear) riippumatta. Vertailun vuoksi laskettiin vastaavat suoritekohtaiset keskimääräiset kustannukset. Rajakustannusten todettiin olevan noin 21–43 % keskimääräisistä kustannuksista vertaillusta kustannuskokonaisuudesta (kunnossapito ja/tai korvausinvestoinnit) ja rajakustannusten estimointitavasta riippuen. Tässäkin lähteessä todetaan korvausinvestointien olevan kunnossapidon menoja enemmän liikenteen määrästä riippuvia. Lähteessä esitetään myös junakilometreille (vs. bruttotonnikilometrit) estimoidut kustannusfunktiot ja rajakustannukset. Lisäksi Sveitsin rataverkon ominaisuudet ja siitä saatavissa oleva aineisto ja sallii tarkastella muita maita paremmin erikseen alueellisia rataverkon osia sekä henkilö- ja tavaraliikenteen eroja.

Edellisten lisäksi Link (2009) on tutkinut Itävallan vanhoja aineistoja uusin tavoin (mm. Cobb-Douglas-, Translog- ja Box-Cox-funktioiden erot; vrt. Munduch ym. 2002). Ranskassa radanpidon kustannusten käsittelyä ja rajakustannusten laskentaa on arvioitu erilaisilla radoilla ja eri liikennetyypeillä (mm. Quadry & Quinet 2003 ja Quinet 2009).

## 5 Laskenta-aineisto

### 5.1 Rataosat

Rataosa on yhteysväli tai muu ratalinjan osa, jolle voidaan määrittää yksilöidysti radanpidon kustannusfunktion muodostuksessa tarvittavat tiedot. Taulukko 9 esittää valtion rataverkon rataosat, joille laskenta-aineistoa on koottu suomalaisissa tutkimuksissa. Ratapihat, liityntäraiteet sekä logistiikkaterminaalien, teollisuuslaitosten ja satamien yksityisraiteet on rajattu aineiston ulkopuolelle.

Koska joidenkin rataosien ylläpito ja käyttö tai tietojen seuranta voi lakata, jää lopullisesta laskenta-aineistosta pois jotain rataosia. Rataosia voidaan karsia aineistosta myös puutteellisten tietojen vuoksi. Siten taulukon 9 esittämistä rataosista aivan kaikki eivät sisälly lopulliseen estimoitavaan aineistoon. Uusia rataosia (Kerava–Lahti ja Kerava–Vuosaari) on liitetty laskenta-aineistoon alkaen vuosista kun niistä on kertynyt seurantajärjestelmiin riittävät tiedot. Lopulliseen aineistoon kuuluu karsimisen jälkeen tarkasteluvuodesta riippuen 85–87 rataosaa. Ne kattavat lähes täysin valtion rataverkon liikennöidyn ratapituuden (vuonna 2010 valtion rataverkon liikennöity ratapituus oli 5 782 km).

### 5.2 Rataosien liikennesuorite

Liikennesuoritteiden mittaamisen perusyksikkö, bruttotonnit per rataosa, koostuu vuoden aikana rataosalla kulkeneen junakaluston ja lastin tai matkustajien yhteenlasketusta painosta. Bruttotonnit kootaan erikseen tavarajunaliikenteelle, kaukoliikenteen henkilöjunille ja lähiliikenteen henkilöjunille. Kustannusfunktion estimoinnissa rataosan bruttotonnit lasketaan yhteen.

Tavarajunien ja kaukoliikenteen henkilöjunien bruttotonnit kootaan rataosittain rautatietilaston tausta-aineistosta, jotka Liikennevirasto saa liikennöitsijältä. Rautatietilaston tausta-aineisto ei kuitenkaan sisällä pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen ja maakuntien sähkömoottorijunaliikenteen tietoja. Näiltä osin rataosien bruttotonnit määritetään käsin laskentana liikennöitsijän sähkömoottorijunien veturikilometritilaston ja aikataulukirjojen avulla. Bruttotonnien muodostamisessa tehdään oletuksia keskimääräisestä junakokoonpanon massasta.

Lähijunaliikenteen ja maakuntien sähkömoottorijunaliikenteen erillislaskentaan liittyy suoriteaineiston tarkkuuden heikentymisen riski kyseisen liikenteen rataosilla. Tarkkuus voi heikentyä sekä ajettujen vuorojen lukumäärien että käytössä olleiden kalustotyyppien mukaisten kokonaismassojen osalta, ottaen huomioon junakokoonpanojen koot (yksi vai useampi yhteen liitetty yksikkö). Tulevaisuudessa myös lähiliikenteen ja sähkömoottorijunaliikenteen bruttotonnitiedot saadaan tiettävästi aineistoon samalla systematiikalla kuin muu liikenne.

Liikenteen määrä vaihtelee rataosittain todella paljon vähäliikenteisimmillä rataosilla vuoden aikana kulkeneesta muutamasta junasta aina kymmeneen miljooniin bruttotonneihin muun muassa eteläisen Suomen rataosilla sekä Itä-Suomen metsäteollisuusalueille ja Venäjälle vievillä rataosilla. Eri vuosien välillä liikenteen määrään vaikuttavat eniten teollisuuden raaka-aineiden hankinnan ja tuotteiden viennin

määrälliset vaihtelut sekä raaka-aineiden hankinta-alueiden ja ulkomaankaupan vientisatamien vaihtelut. Tietyillä yhteysväleillä merkitystä on myös kauttakulukuljetusten vaihteluilla. Henkilöliikenteen junien liikennöinti ei yleensä vaihtelee yhtä voimakkaasti kuin tavaraliikenne.

Taulukko 9. Aineiston muodostamisessa käytetty rataosajako ja rataosien pituudet\*

Nro*	Rataosa	Km	Nro	Rataosa	Km
1	Helsinki – Pasila	3	49	Joensuu – Ilomantsi	71
2	Pasila – Hiekkaharju	14	50	Turku – Toijala	128
3	Hiekkaharju – Kerava	12	51	Toijala – Valkeakoski	17
4	Pasila – Kirkkonummi	35	52	Pieksämäki – Jyväskylä	80
5	Huopalahti – Vantaankoski	9	53	Toijala – Tampere	40
6	Kerava – Hyvinkää	30	54	Vilppula – Mänttä	9
7	Hyvinkää – Riihimäki	12	55	Lielähti – Kokemäki	91
8	Kerava – Sköldvik	33	56	Kokemäki – Pori	38
9	Kirkkonummi – Karjaa	49	57	Tampere – Lielähti	6
10	Hyvinkää – Karjaa	99	58	Lielähti – Parkano	69
11	Karjaa – Hanko	53	59	Parkano – Seinäjoki	84
12	Riihimäki – Toijala	76	60	Kankaanpää – Parkano	48
13	Riihimäki – Lahti	59	61	Parkano – Aitoneva	22
14	Turku – Raisio	8	62	Tampere – Orivesi	42
15	Raisio – Uusikaupunki	58	63	Orivesi – Jämsänkoski	60
16	Karjaa – Turku	113	64	Jämsänkoski – Jyväskylä	53
17	Lahti – Kouvola	62	65	Orivesi – Haapamäki	72
18	Kouvola – Juurikorpi	36	66	Haapamäki – Seinäjoki	118
19	Juurikorpi – Kotka	18	67	Kokemäki – Rauma	47
20	Kouvola – Luumäki	58	68	Pori – Mäntyluoto	21
21	Kouvola – Mikkeli	113	69	Jyväskylä – Äänekoski	47
22	Mikkeli – Pieksämäki	71	70	Äänekoski – Saarijärvi	28
23	Kouvola – Kuusankoski	8	71	Saarijärvi – Haapajärvi	135
24	Juurikorpi – Hamina	19	72	Jyväskylä – Haapamäki	78
25	Lahti – Heinola	38	73	Seinäjoki – Vaasa	74
26	Lahti – Loviisa	78	74	Seinäjoki – Kaskinen	112
27	Luumäki – Vainikkalan raja	33	75	Seinäjoki – Kokkola	133
28	Luumäki – Lappeenranta	28	76	Kokkola – Ylivieska	79
29	Lappeenranta – Imatra	39	77	Ylivieska – Tuomioja	68
30	Imatra – Parikkala	61	78	Tuomioja – Oulu	54
31	Parikkala – Säkäniemi	93	79	Pännäinen – Pietarsaari	11
32	Säkäniemi – Joensuu	37	80	Tuomioja – Rautaruukki	34
33	Parikkala – Savonlinna	59	81	Ylivieska – Haapajärvi	55
34	Savonlinna – Huutokoski	75	82	Oulu – Kontiomäki	166
35	Pieksämäki – Kuopio	89	83	Oulu – Kemi	106
36	Kuopio – Siilinjärvi	25	84	Kemi – Laurila	8
37	Siilinjärvi – Iisalmi	60	85	Laurila – Rovaniemi	106
38	Pieksämäki – Huutokoski	31	86	Laurila – Tornio	18
39	Huutokoski – Varkaus	18	87	Tornio – Kolari	183
40	Varkaus – Viinijärvi	101	88	Tornio – Röyttä	11
41	Viinijärvi – Joensuu	33	89	Rovaniemi – Kemijärvi	83
42	Viinijärvi – Siilinjärvi	112	90	Kemijärvi – Kellosoelkä	78
43	Iisalmi – Kontiomäki	109	91	Murtomäki – Otanmäki	25
44	Iisalmi – Haapajärvi	99	92	Taivalkoski – Kontiomäki	156
45	Joensuu – Uimaharju	50	93	Kontiomäki – Vartius	95
46	Uimaharju – Nurmes	109	94	Kerava–Lahti	76
47	Nurmes – Kontiomäki	109	95	Kerava – Vuosaari	19
48	Säkäniemi – raja	33		Rataosien yhteispituus	5 721

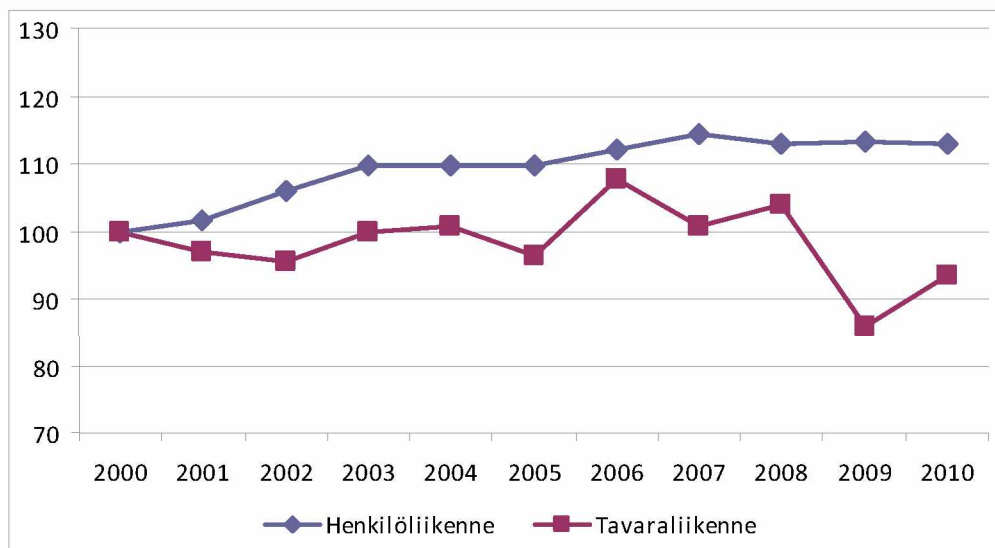
\*Rataosajako mukailee rautatietilaston ja kustannusseurannan rataosajakoja.



Liikenteen määrän vaihteluiden havainnollistamiseksi esitetään rataverkolla 2000-luvulla kulkeneiden bruttotonnikilometrien kehitys volyymi-indeksillä kuvattuna (kuva 2).

Henkilöliikenteen matkat ovat lisääntyneet koko tarkasteluajanjakson ajan, pois luki-en taantumavuoden 2009 vaikutus matkustamiseen. Matkojen lisääntyminen tarkoittaa yhtäältä henkilöjunien täyttöasteiden nousua mutta myös uusia junavuoroja ja junasuoritteiden lisääntymistä. Esimerkiksi Kerava-Lahti-rataosan valmistumisen jälkeen rataverkolla lisättiin henkilöliikenteen tarjontaa. Tämä kehitys vaikuttaa henkilöliikenteen junien suoritemääriin uusissa poikkileikkausaineistoissa (2006–2009).

Tavaraliikenteessä kuljetusten tasainen kasvu tarkastelujakson alkupuolella vaihtui voimakkaasti tempoilevaan kehitykseen. Vuonna 2009 talouden taantuma vähensi kuljetussuoritteita huomattavasti. Tavaraliikenteessä kuljetusten kysynnän muutokset vaikuttavat suoraan ajettujen junien lukumääriin sekä junien vaunumääriin. Tämä kehitys vaikuttaa tavaraliikenteen junien suoritemääriin uusissa poikkileikkausaineistoissa (2006–2009).



Kuva 2. Rautateiden bruttotonnikilometrit volyymi-indeksinä 2000–2010 (Liikennevirasto 2011)

## 5.3 Rataosien ominaisuudet

Rataosien teknisiä ominaisuuksia voidaan periaatteessa määrittää radanpidon kustannuksia selittäviksi muuttujiksi suurikin määrä. Keskeisimmät merkitsevät muuttujat on kuitenkin rajattavissa suomalaisissa estimointikokeiluissa karttuneen tiedon sekä kansainvälisten empiiristen tutkimusten avulla. Toimivia teknisiä muuttujia on kyetty määrittelemään varsin rajallinen määrä. Reunaehtona on, että teknisille muuttujille on kyettävä löytämään radanpidon kustannusten selityskykyä kustannusfunktioissa joka tapauksessa mukana olevan liikennesuoritetiedon kanssa.

Sekä suomalaisissa että kansainvälisissä tutkimuksissa keskeisimmäksi radanpidon kustannuksia selittäväksi muuttujaksi on havaittu infrastruktuurin määrä, eli rataosalla sijaitsevien raiteiden yhteispituus. Itse asiassa raidepituuden merkitys

on yleensä selvästi liikennesuoritteita suurempi. Muita testattuja teknisiä muuttujia ovat olleet muun muassa rataosan nopeustaso, palveluluokka tai muu tekninen laadun kuvaaja sekä keskeiset varusteet ja niiden määrä (esimerkiksi sähköistys ja vaihteet).

Aiemmissa tutkimushankkeissa Suomen aineistoihin on koottu useita muuttujia verkkoselostuksesta ja vaihderekisteristä (taulukko 10). Raidepituutta lukuun ottamatta muuttujille ei kuitenkaan ole kyetty määrittämään radanpidon kustannusten systemaattista selityskykyä. Joissain malleissa eri estimointimenetelmiä käyttäen on voitu löytää selityskykyä vaihteiden lukumäärälle ja nopeustasolle sekä eräille aineiston pohjalta erikseen muodostetuille tasomuuttujille (kuten esimerkiksi tässä työssä on tehty). Muuttujien toimivuus malleissa on kuitenkin vaihdellut tarkasteluvoudesta ja estimointimenetelmästä riippuen.

*Taulukko 10. Rataosien teknisiä ja laadullisia ominaisuuksia kuvaavia muuttujia*

<i>Muuttuja</i>	<i>Kuvaustapa</i>
<i>Rataosan pituus</i>	<i>km</i>
<i>Rataosan raiteiden yhteispituus</i>	<i>km</i>
<i>Rinnakkaisten raiteiden määrä</i>	<i>lukumäärä</i>
<i>Rataosan sähköistys</i>	<i>kyllä / ei</i>
<i>Rataosan tekninen tila / Palvelutaso</i>	<i>päällysmateriaalien laatuluokitus, kuntoindeksi, palvelutasoluokitus</i>
<i>Vaihteet</i>	<i>lukumäärä</i>
<i>Kantavuus</i>	<i>maksimiakselipaino, tonnia</i>
<i>Nopeustaso</i>	<i>enimmäisnopeus, junien käyttämä nopeus</i>

Syyt eri teknisten muuttujien toimimattomuudelle ovat yksittäisiä. Joiden muuttujien suhteen rataverkko on liian samankaltainen, eli havaintoaineistossa ei ole riittävästi tilastollisten relaatioiden muodostumiselle tarvittavaa vaihtelua (esimerkiksi sähköistys). Jotkut rataverkon tekniset ominaisuudet ovat enemmän liikennepaikka- kuin ratalinjakohtaisia (esimerkiksi rinnakkaisten raiteiden lukumäärä ja vaihteet). Laadulliset muuttujat (esim. palvelutasoluokitus) ovat taas käytännössä usein teknisen tekijän yhdistelmä.

Tässä työssä tehdyissä niin sanotuissa perusestimoinneissa teknisenä muuttujana on käytetty siis vain rataosittaisen raidepituutta, mutta joissain kokeiluissa tasomuuttujina on käytetty rataosan laatuluokitusta, enimmäisnopeustasoa, raiteiden lukumäärää ja korvausinvestointien tasoa. Estimointikokeiluja tehtiin erilaisilla muuttujayhdistelmillä, mutta raportissa esitetään vain ne mallit, jotka tuottivat käyttökelpoisia tuloksia.

## 5.4 Radanpidon muuttuvat kustannukset

Poikkileikkausvuosille 2006–2009 koottiin aiempien tutkimusten mukaisesti rataosille kohdennettavissa olevat muuttuvat radanpidon menot: peruskunnossapito, ylläpitoinvestoinnit ja korvausinvestoinnit. Tiedot saatiin Liikenneviraston menoseurannan koosteista.

Suurin osa aineistosta saatiin aikaisempien tutkimusten tavoin aineistopohjan rataosia (taulukko 9) vastaavassa tarkkuustasossa. Joillain rataverkon osilla Liikenneviraston menojen seurantaa tehdään tässä työssä käytettyä aineistopohjaa hieman karkeammin. Tällöin radanpidon menoja on kohdennettu aineiston rataosille kilometriperusteisesti.

Taulukossa 11 esitetään Liikenneviraston menoseurannan koosteesta laskenta-aineistoon poimittujen radanpidon menojen summat. Peruskunnossapidon ja ylläpitoinvestointien summat ovat eri tarkasteluvuosina pienin eroin varsin samansuuruiset. Liikenneviraston menoseurannan koosteesta poimitut rataosille kohdennetut korvausinvestoinnit sen sijaan nousivat voimakkaasti vuoden 2006 jälkeen.

Laskenta-aineistoon koottua radanpidon menojen määrää voidaan verrata tilinpäätöksen mukaisiin perusradanpidon menojen kokonaismääriin (taulukko 12). Taulukoiden luvut eivät ole aivan suoraan vertailukelpoisia johtuen muun muassa menojen luokituseroista. Joka tapauksessa luvuista ilmenee ratamaksulaskelmissa käsiteltyjen radanpidon menojen ja vastaavan tilinpäätöksissä esitetyn vuosittaisen rahan kokonaiskäytön välinen ero. Taulukon 11 esittämät summat kattavat vuodesta riippuen 57–78 % taulukon 12 esittämästä radanpidon rahankäytöstä.

Kuten edellä on todettu, käsitellään laskelmissa radanpidon menoaineistoa, josta on karsittu pois muun muassa ratapihoille kohdistunut rahankäyttö sekä useat vain rataverkon tai hoitoalueiden summatasolla seuratut menot (ts. menot, jotka ei kuulu tai eivät ole kohdennettavissa aineistopohjan rataosien ratalinjalle). Lisätietona mainittakoon, että tarkasteltuina vuosina radanpidon kokonaismenot vaihtelivat kehittämisinvestoinnit mukaan luettuna välillä 433–596 M€ (Ratahallintokeskuksen vuosikertomus 2006 sekä tilinpäätös 2009).

*Taulukko 11. Rataosille kohdennetut muuttuvat radanpidon menot 2006–2009 (nimellisin hinnoin)*

M€	2006	2007	2008	2009
Peruskunnossapito	73,9	74,2	75,4	81,2
Ylläpitoinvestoinnit	7,8	11,7	7,4	8,9
Korvausinvestoinnit	95,2	159,2	149,0	136,7
Yhteensä	176,9	245,1	231,8	226,8

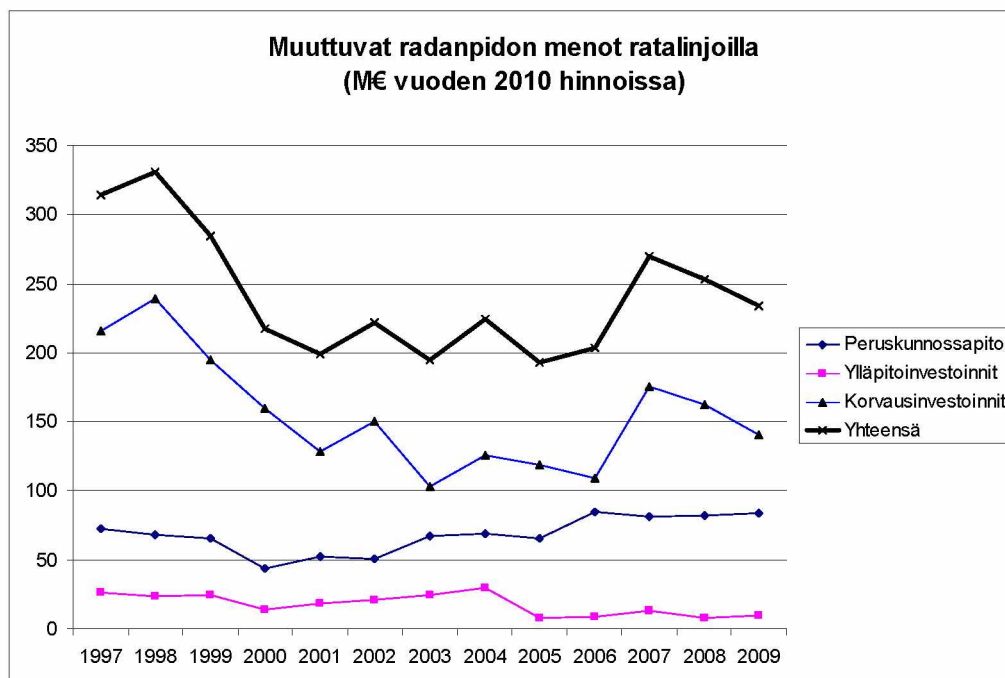
*Taulukko 12. Eräät perusradanpidon menoerät 2006–2009 (nimellisin hinnoin; Ratahallintokeskuksen vuosikertomus 2006 ja tilinpäätös 2009)*

M€	2006	2007	2008	2009
Radan hoito ja käyttö	108,1	111,2	121,9	136,5
Radan korjaustyöt	28,2	26,0	29,3	29,1
Ylläpitoinvestoinnit	11,4	20,9	17,0	16,9
Korvausinvestoinnit	164,2	157,5	168,9	160,4
Yhteensä	311,9	315,6	337,1	342,9

Kuva 3 esittää vuoden 2010 hintatasoon maarakennuskustannusindeksillä (MAKU; Tilastokeskus) korjatut ratamaksuprojektien radanpidon menoaineistot vuosilta 1997–2009. Esitys sallii siis vertailla laskenta-aineistoon sisältyneiden menojen vo-lymin vaihtelua vertailukelpoisen hintatason mukaisesti.

Indeksikorjatussa tarkastelussa nähdään, että ensimmäisessä ratamaksuprojektissa (Idström 2002) tarkasteltujen vuosien 1997–1999 aikana laskenta-aineistoon sisältyneiden menojen määrä oli tarkastelujaksolla suurin. Sen jälkeen radanpidon rahoitus-tason selvä aleneminen vuosiksi 2000–2005 heijastui suoraan ratamaksulaskelmien aineistoihin ja menojen määrä oli alhainen. Vuonna 2006 peruskunnossapidon menot sekä varsinkin korvausinvestoinnit nousivat jälleen korkeammalle tasolle.

Kaikkina vuosina juuri korvausinvestointien määrän vaihtelut ovat vaikuttaneet voi-makkaimmin ratamaksulaskelmissa käsiteltyjen menojen kokonaismäärään. Perus-kunnossapidon menojen lisääntyä vuodesta 2006 alkaen nähdään, että ylläpito-investointien määrä vastaavasti aleni. Käyriä tarkasteltaessa on syytä jälleen ottaa huomioon, että ne esittävät vain ratalinjoille kohdistuneiden radanpidon menojen summia. Sellaisina vuosina kun ratapihojen korvausinvestointeihin tai rataverkkoa ja liikennettä yleisesti palvelevien varusteiden ja laitteiden uudistamiseen on panostet-tu voimakkaammin, on se voinut vähentää ratalinjoilla tehtyjä korvausinvestointeja.



Kuva 3. Muuttuvien radanpidon menojen määrä, ratalinjoilla tehdyt työt, 1997–2009, M€ vuoden 2010 hinnoin

## 6 Estimoidut kustannusfunktiot sekä rajakustannukset

### 6.1 Yleistä

Kustannusfunktioiden estimoinneista esitetään nyt aikaisempien suomalaisten tutkimusten kanssa vertailukelpoisten mallien päätulokset. Mallispesifikaatiot ja estimointimenetelmät nojaavat siten ennestään tuttuihin lähteisiin (luku 3.3). Aikaisemmista laskelmista tehdyt poikkeamat kuvataan asianmukaisissa kohdissa. Uusien poikkileikkausvuosien aineistot ovat rataosien lukumääränä yhtä kattavat kuin aikaisemmissa tutkimuksissa. Lopullisesta laskenta-aineistosta on poistettu samoja rataosia suorite- ja/tai kustannustietojen puuttumisen vuoksi kuin aikaisemminkin. Viime vuosina rakennetut uudet rataosat (Kerava–Lahti; Kerava–Vuosaari) on otettu tarkasteluun mukaan niiden täysistä liikennöintivuosista alkaen.

Seuraavissa luvuissa esitetään ensin poikkileikkauksina vuosille 2006–2009 estimoidut kustannusfunktiot ja niiden pohjalta lasketut painotetut rajakustannukset. Sen jälkeen esitetään vuosien 1997–2009 paneliaineistolla estimoidut kustannusfunktiot ja painotetut rajakustannukset. Tuloksia arvioidaan sekä ratamaksun perusmaksun tason että yleisemmin laskentamenetelmän soveltamisen kannalta. Laskentamenetelmän kehittämistä arvioidaan ottaen huomioon muun muassa aineiston muodostukseen liittyviä kysymyksiä.

### 6.2 Poikkileikkausaineistot 2006–2009

#### 6.2.1 Muuttuvat kokonaiskustannukset

##### Kustannusfunktiot

Muuttuvien kokonaiskustannusten (peruskunnossapito-, ylläpitoinvestointi- ja korvausinvestointimenot) estimointiin on peräkkäisissä tutkimushankkeissa kehittynyt perusmalli, jossa rataosittaisia radanpidon muuttuvia menoja selitetään rataosien suoritteilla (bruttotonnit) sekä raidepituudella (km). Lisäksi aikaisemmin on määritetty korvausinvestointien tasomuuttuja (arvo = 1, jos korvausinvestointien määrä ylittää tietyn tason). Näistä muuttujista (ml. vakiotermi) koostuvan mallin selityssaste ja muuttujien kerroinestimaatit ovat olleet tilastollisesti merkitseviä.

Nyt estimointiin samat mallit, mutta eräitä mallilaajennuksia on tehty. Korvausinvestointien tasomuuttuja (saa arvon 1, jos rataosalle on kohdistettu korvausinvestointeja) on mukana yhdessä perusmallissa (v. 2006), koska on haluttu tarkistaa sen vaikutus suoritteiden ja raidepituuden kertoimiin (vrt. Tervonen & Pekkarinen 2007).

Aineiston kanssa paras sovite perusmallille haettiin regressioanalyysin pienimmän neliösumman menetelmällä (LS; Least Squares). Lisäksi perusmallin sovitetta haet-

tiin aiemmasta poiketen yleistetyllä momenttimenetelmällä (GMM, Generalised Method of Moments). Menetelmässä käytetään instrumenttimuuttujia perusmallin muuttujavalikoiman laajentamiseksi.<sup>7</sup> Instrumenttimuuttujina käytettiin rataosan teknistä laatuluokitusta (1-6 luokkaa), rataosan enimmäisnopeustasoa, rataosan raideparien lukumäärää, korvausinvestointien tasoa (arvo=1, jos rataosalla on korvausinvestointeja) sekä lähiliikennettä (arvo=1, jos rataosalla on lähiliikennettä).

Vuodelle 2006 estimoidut LS-perusmallit sekä GMM-malli saavat kutakuinkin aikaisempia tutkimustuloksia vastaavat selitysasteet ja muuttuja-arvot (taulukko 13). Raidepituus selittää rataosan menoja lähes suorassa suhteessa (jousto lähes 1). Bruttotonniin lisäys prosentilla lisää radanpidon menoja mallista riippuen noin 0,21–0,27 % (jousto 0,207–0,267). Korvausinvestointien huomiointi perusmallissa (malli LS\_D) parantaa selitystasetta hieman, laskien samalla bruttotonniin ja raidepituuden muuttuja-arvoja. Vuoden 2006 mallien parametriestimaatit ovat tilastollisesti merkitseviä 0,1 % tasolla.

Vuodesta 2007 alkaen perusmallien selitysasteet heikkenevät sekä LS- että GMM-menetelmällä estimoituina. Lisäksi bruttotonniin kerroin jää ei-merkitseväksi vuosina 2008 ja 2009 LS-menetelmällä, joten instrumenttimuuttujien käyttö (GMM) on perusteltua.

Selitysasteiden heikentyminen voi johtua siitä, että radanpidon töitä on tehty painokkaammin vähäliikenteisillä rataosilla. Tällöin on loogista, että menojen ja suoritteiden välinen yhteys heikkenee. Aikaisempina vuosina korvausinvestointeja oli sen sijaan tehty painokkaammin vilkkaammilla radoilla.

Edelleen, vuodesta 2005 alkaen tavaraliikenteen määrä vaihteli vuodesta toiseen voimakkaasti. Vuonna 2009 tonnakilometrien määrä rataverkolla väheni vuoteen 2008 verrattuna lähes viidenneksen talouden taantuman vuoksi. Radanpidon rahoitustaso ei kuitenkaan alentunut vastaavasti, ja rahankäytön ja suoritteiden välisen yhteyden heikentymistä voidaan selittää osin myös tätä kautta.

---

<sup>7</sup> Regressioanalyysissä instrumenttimuuttujia käytetään apuna kun selittävät muuttujat ovat korreloituneita mallin virhetermin kanssa. Tällöin tavallinen regressioanalyysi tuottaa epätarkkoja estimaatteja. Instrumenttimuuttujien avulla on mahdollista saada tarkentuvia estimaatteja.

Taulukko 13. Poikkileikkauksina estimoidut muuttuvien kokonaiskustannusten funktiot 2006–2009

Vuosi / Estimointimenetelmä	Selitysaste	Rataosien lkm (N)*	Vakio	Bruttotonnit	Raidepituus	Korvausinvestointien tasomuuttuja
2006						
LS	48 %	85	6,147	0,267	0,905	-
LS_D	54 %	85	6,682	0,207	0,886	0,641
GMM	47 %	85	6,396	0,243	0,921	-
2007						
LS	38 %	86	7,218	0,225	0,851	-
GMM	37 %	86	8,095	0,196	0,734	-
2008						
LS	32 %	86	8,764	0,086 <sup>ns</sup>	0,948	-
GMM	26 %	86	7,470	0,228	0,719	-
2009						
LS	36 %	87	8,207	0,125 <sup>ns</sup>	0,948	-
GMM	34 %	87	7,570	0,192	0,836	-

\*Vuodesta 2007 alkaen mukana on Kerava–Lahti-rataosa ja vuodesta 2009 alkaen mukana on Kerava–Vuosaari-rataosa. <sup>ns</sup> Bruttotonnien LS-estimaatti ei ole tilastollisesti merkitsevä: v. 2008 kerroin 0,086 (p=0,3239) ja v. 2009 kerroin 0,125 (p=0,1212).

## Rajakustannukset

Kustannusfunktiossa muodostetusta radanpidon menojen ja suoritteiden välisestä suhteesta voidaan laskea bruttotonnikilometrin aiheuttama radanpidon rajakustannus jokaiselle laskenta-aineiston sisältämälle rataosalle. Eri rataosien kesken rajakustannuksen hajonta on kuitenkin hyvin suurta.<sup>8</sup> Erot johtuvat eri vuosina toteutuneiden suoritteiden ja radanpidon panostusten välisistä suhteellisista eroista.

Rataverkon käytön yhtenäiseen hinnoitteluun tarvitaan koko rataverkkoa edustava keskimääräinen rajakustannusarvo. Se määritetään painottamalla rataosittaisia rajakustannuksia koko rataverkon yhteenlaskettuun suoritteeseen (bruttotonnikilometreihin) nähden. Nyt esitetään siten jaotellut tulokset, jotka palvelevat perusmaksun tason arviointia ja ovat vertailukelpoisia aikaisempien tutkimustulosten kanssa.

Poikkileikkausvuosille laskettu kaikkien tarkasteltujen rataosien suoritteilla painotettujen rajakustannusten arvo oli vuodesta ja estimointimenetelmästä riippuen 0,1164–0,1479 snt/brtkm (taulukko 14).

<sup>8</sup> Esimerkiksi vuonna 2009 rataosittaiset painottamattomat rajakustannukset olivat 0,05–6,48 snt/brtkm (min–max).



Niiden rataosien, joilla kulkee tavaraliikennettä (ts. yksinomaan henkilöliikenteen rataosat rajataan laskelmasta pois), painotettujen rajakustannusten arvo oli vuodesta ja estimointimenetelmästä riippuen 0,1160–0,1474 snt/brtkm. Tulos on lähes sama kuin kaikkien rataosien rajakustannus, koska tavaraliikennettä on lähes jokaisella rataosalla.

Kun erittelyyn valitaan rataosat, joilla on henkilöliikennettä (ts. yksinomaan tavaraliikenteen rataosat rajataan laskelmasta pois), painotettujen rajakustannusten arvo oli vuodesta ja estimointimenetelmästä riippuen 0,0959–0,1251 snt/brtkm. Laskelmasta rajautuu siis pois korkeiden rajakustannusten tavaraliikenteen rataosia, joilla radanpidon menoja on liikennemääriin nähden paljon.

*Taulukko 14. Painotettu rajakustannus poikkileikkausvuosina 2006–2009, muuttuvien kokonaiskustannusten aineisto, snt/brtkm (nimellisin hinnoin)*

Vuosi / estimointimenetelmä	Kaikki rataosat, snt/brtkm (N=88)	Rataosat, joilla on tavaraliikennettä, snt/brtkm (N=84–87)	Rataosat, joilla on henkilöliikennettä, snt/brtkm (N=56–62)
2006			
LS	0,1346	0,1341	0,1116
GMM	0,1164	0,1160	0,0959
2007			
LS	0,1479	0,1474	0,1251
GMM	0,1174	0,1169	0,0977
2008			
GMM	0,1269	0,1237	0,0993
2009			
GMM	0,1166	0,1162	0,0970

Tulosten mukaan tavaraliikenteen ratamaksun perusmaksun tulisi olla jonkin verran henkilöliikenteen perusmaksua korkeampi. Tulos on tosin tuotettu laskennallisesti, koska rataverkko on tavara- ja henkilöliikenteen yhteiskäytössä, eikä aineistoista voida aidosti eritellä eri liikennetyyppien aiheuttamaa radan kulumista. Eriteltyä tulosta on silti käytetty perusmaksun tason määrittämisessä (Idström 2002 tutkimuksen tulosten pohjalta). Nyt tulokset kuitenkin viittaavat aiempaa suurempaan rajakustannusten eroon kun pyritään erittelemään tavara- ja henkilöliikenteen rajakustannuksia.

Taulukon 14 esittämien tulosten ulkopuolelta mainittakoon, että Etelä-Suomen vilkkaimmin liikennöidyillä rataosilla rajakustannukset olivat selvästi koko rataverkolle painotettua tulosta alhaisemmat (luokkaa 0,3–0,5 snt/brtkm). Eri tutkimuksista niin Suomesta kuin muistakin maista tiedetään, että siellä missä liikennettä on runsaasti, ovat rajakustannukset bruttotonnikilometriä kohti alhaisemmat (ja päinvastoin).

Tässä esitettyjen erittelyjen lisäksi on mahdollista laskea painotettuja rajakustannuksia monenlaisille rataverkon osakokonaisuuksille. Sen ansiosta olisi mahdollista hinnoitella rataverkon käyttöä eritellysti eri puolilla Suomea. Rajoitteen muodostaa kuitenkin se, ettei hinnoittelua voida perustaa kovin vähäisiin havaintomääriin.

## 6.2.2 Kunnossapitokustannukset

### Kustannusfunktiot

Kustannusfunktiot estimoitiin erikseen kunnossapitokustannuksille (sis. kunnossapidon ja ylläpitoinvestointien menot). Kunnossapidon menoja kohdentuu kullekin rataosalle jokaisena vuonna ja määrältään tasaisemmin kuin korvausinvestointeja. Vuosittaisille kunnossapitokustannuksille estimoitiin yksinkertainen perusmalli, jossa radanpidon menoja selittävät rataosan bruttotonnit ja raidepituus. Regressioanalyysissä käytettiin pienimmän neliösumman menetelmää (LS, Least Squares).

Tuloksista nähdään, että vuosien 2006–2009 perusmallin selitysasteet (taulukko 15) ovat korkeammat kuin vastaavat muuttuvien kokonaiskustannusmallien selitysasteet. Tosin mallien selitysaste alenee vuotta 2009 kohti, kuten havaittiin myös kokonaiskustannusten malleissa. Muuttujaestimaatit ovat merkitseviä vähintään 1 %:n tasolla (paitsi 2008, jolloin bruttotonnien kerroin on merkitsevä 5 %:n tasolla).

Suoritemäärien merkitys radanpidon menoille on pelkkiä kunnossapitokustannuksia tarkasteltaessa alhaisempi kuin muuttuvien kokonaiskustannusten malleissa. Kustannusten jousto bruttotonnien suhteen 0,106–0,181. Myös raidepituuden merkitys on lievästi alhaisempi kuin muuttuvien kokonaiskustannusten malleissa.

*Taulukko 15. Poikkileikkauksina estimoidut kunnossapitokustannusten funktiot 2006–2009, LS-estimointi*

Vuosi	Selitysaste	N	Vakio	Bruttotonnit	Raidepituus
2006	60 %	85	7,197	0,181	0,840
2007	59 %	86	8,144	0,140	0,780
2008	56 %	86	8,389	0,106	0,829
2009	52 %	87	8,297	0,133	0,771

## Rajakustannukset

Pelkästään kunnossapidolle ja ylläpitoinvestoinneille lasketut painotetut rajakustannukset (taulukko 16) ovat yleistäen noin kolmasosa muuttuvien kokonaiskustannusten rajakustannuksista (taulukko 14). Eri tarkastelukokonaisuuksissa painotettujen rajakustannusten tasot ovat suhteeltaan samat muuttuvien kokonaiskustannusten tuloksiin verrattuna.

*Taulukko 16. Painotettu rajakustannus poikkileikkausvuosina 2006–2009, kunnossapitokustannusten aineisto (nimellisin hinnoin)*

Vuosi	Kaikki rataosat, snt/brtkm (N=88)	Rataosat, joilla on tava- raliikennettä, snt/brtkm (N=84–87)	Rataosat, joilla on henki- löliikennettä, snt/brtkm (N=56–62)
2006	0,0437	0,0436	0,0352
2007	0,0353	0,0351	0,0289
2008	0,0255	0,0248	0,0192
2009	0,0391	0,0390	0,0318

## 6.3 Paneliaineisto 1997–2009

### 6.3.1 Muuttuvat kokonaiskustannukset

Muuttuvien kokonaiskustannusten paneliaineisto vuosille 1997–2009 (yhdistetyt poikkileikkaukset; 88 rataosaa x 13 vuotta) estimoitiin ensin käyttäen regressioanalyysissä LS-menetelmää (Panel LS). Sitten arvioitiin, onko mallissa havaintoyksiköistä (rataosista) tai tarkasteluvuosista johtuvaa kiinteää vaihtelua (fixed effects) muuttuviin kokonaiskustannuksiin nähden käyttäen regressioanalyysissä EGLS-menetelmää (Panel EGLS).

Kokeilujen jälkeen tuloksissa on esitetty vain vuosiin liittyvä kiinteä vaikutus. Näin muuttuvia kokonaiskustannuksia selittäville muuttujille (bruttotonnit ja raidepituus) estimoitujen kertoimien tilastollinen merkitsevyys paranee. Lisäksi, koska poikkileikkausaineistojen estimoinnissa käytetään GMM menetelmää, sitä kokeiltiin myös paneliaineistoihin (Wooldridge 2010). Instrumenttimuuttujia, joita tulee olla vähintään yhtä monta kuin selittäviä muuttujia, ovat vakio, rataosan tekninen laatu, maksiminopeus, raideparien lukumäärä, korvausinvestointien ja lähiliikenteen tasomuuttujat sekä liikennesuorituksen paino (weight = rataosan liikenne/koko rataverkon liikenne).

Tulosten mukaan (taulukko 17) mallien selitysasteet ovat alhaisemmat mutta muuttuvien kokonaiskustannusten jousto bruttotonnien ja raidepituuden suhteen on jonkin verran suurempi kuin edellisen tutkimuksen tuloksissa vuosien 1997–2005 paneliaineistona estimoituna (luku 4.1.1, taulukko 6).

Lisättäessä paneliaineiston 1997–2009 malliin korvausinvestointien tasomuuttuja, mallin (Panel LS\_D) selitysaste nousee selvästi muihin malleihin verrattuna. Samalla

bruttotonnien ja raidepituuden jousto alenee, koska osan kustannusten vaihtelusta selittää malliin lisätty korvausinvestointien tasomuuttuja (saa arvon 1 jos rata osalle  $i$  vuonna  $t$  kohdistunut korvausinvestointeja).

*Taulukko 17. Paneliaineistolla 1997–2009 estimoitu muuttuvien kokonaiskustannusten funktio*

Malli	Rata- osat per aineis- to- vuodet	Selitys- aste	N	Vakio	Brutto- tonnit	Raide- pituus	Korvaus- inves- tointien taso- muuttuja
Panel LS	88 x 13	40 %	1 110	6,112	0,267	0,933	-
Panel LS_D	88x13	49%	1 110	7,351	0,171	0,859	0,797
Panel EGLS	88 x 13	43 %	1 110	6,015	0,272	0,938	-
Panel GMM	88* 13	41%	1 110	5,184	0,348	0,848	-

Kustannusfunktioiden perusteella lasketut koko rataverkolle painotetut rajakustannukset (taulukko 18) ovat kolmessa ensin esitetyssä mallissa 0,1790–0,1837 snt/brtkm (vuoden 2010 hinnoissa). Tavaraliikenteen käyttämille rataosille painotetut rajakustannukset ovat 0,1779–0,1828 snt/brtkm. Henkilöliikenteen käyttämille rataosille painotetut rajakustannukset ovat 0,1561–0,1611 snt/brtkm. Tuloksista havaitaan, että mallin selitysasteen noustessa korvausinvestointien tasomuuttujan sisältämälle mallille (Panel LS-D), nousevat myös rajakustannukset hieman. Panel GMM-mallista lasketut painotetut rajakustannukset ovat selvästi muiden mallien mukaisia tuloksia korkeammat.

*Taulukko 18. Painotettu rajakustannus snt/brtkm, muuttuvien kokonaiskustannusten paneliaineisto 1997–2009 (2010 hinnoin)*

Malli	Kaikki rataosat, snt/brtkm (NxT=1 122)	Rataosat, joilla on tavara- liikennettä, snt/brtkm (NxT=1 109)	Rataosat, joilla on henkilöliikennettä, snt/brtkm (NxT=837)
Panel LS	0,1790	0,1779	0,1561
Panel LS_D	0,1837	0,1828	0,1611
Panel EGLS	0,1827	0,1815	0,1597
Panel GMM	0,2390	0,2373	0,2113

Paneliaineistoilla estimoiduista kustannusfunktioista lasketut rajakustannustulokset ovat varsin korkeat aiempiin tuloksiin verrattuna, koska rajakustannusten tasoon vaikuttaa nyt voimakkaasti radanpidon menojen kustannustason indeksikorjaus vuoteen 2010. Tarkasteluperiodin alkupäässä vuosina 1997–1999 radanpidon menot olivat tarkastelujakson korkeimmat. Vuoden 2010 hinnoissa tarkasteltuna kyseiset vuodet painavat tuloksissa merkittävästi yhdessä vuosina 2007–2009 myös toteutuneen runsaan rahoitustason kanssa (ks. luku 5.4, kuva 3). Sen ohella tuloksiin vaikuttaa vuosina 2006–2009 toteutunut korvausinvestointien runsas määrä vähäliikenteisillä rataosilla.

### 6.3.2 Kunnossapitokustannukset

Paneliaineistona estimoidun kunnossapitokustannusten (sis. kunnossapidon ja ylläpitoinvestointien menot) panelimallin (Panel LS) tuottamat bruttotonnien ja raidepituuden kertoimet (taulukko 19) ovat samaa tasoa kuin poikkileikkausaineistojen 2006–2009 mukaiset tulokset (taulukko 15). Myös mallin selitysaste on yhtä korkea. Selitysaste on myös korkeampi kuin muuttuvien kokonaiskustannusten mallien selitysasteet.

*Taulukko 19. Paneliaineistolla 1997–2009 estimoitu kunnossapitokustannusten funktio*

Malli	Rataosat per aineistovuodet	Selitysaste	N	Vakio	Brutto- tonnit	Raide- pituus
Panel LS	88 x 13	54 %	1108	7,962	0,127	0,854

Paneliaineistolla estimoidusta kunnossapidon kustannusfunktioista lasketut painotetut rajakustannukset (taulukko 20) ovat hyvin samaa tasoa kuin poikkileikkausaineistojen 2006–2009 mukaiset tulokset (taulukko 16).

Taulukko 20. Painotettu rajakustannus snt/brtkm, kunnossapitokustannusten paneli-aineisto 1997–2009 (2010 hinnoin)

Malli	Kaikki rataosat	Rataosat, joilla on tavara-liikennettä, snt/brtkm	Rataosat, joilla on henkilö-liikennettä, snt/brtkm
Panel LS	0,0331	0,0329	0,0278

## 6.4 Ratamaksun tason arviointi

### Kustannusfunktiot

Yleinen tulkinta vuosille 2006–2009 poikkileikkauksina estimoiduista kustannusfunktioista on, että tilastollinen yhteys radanpidon muuttuvien kustannusten ja liikennesuoritteiden välillä on heikentynyt. Se johtunee ennen kaikkea siitä, että korvausinvestointeja kohdistui ajanjaksolla voimakkaammin vähäliikenteisille rataosille. Korvausinvestointien merkitystä voidaan eritellä sekä laskenta-aineistosta<sup>9</sup>, että esimerkiksi vertaamalla tuloksia pelkästään kunnossapidon kustannuksille estimoituihin malleihin, joissa selitysasteet olivat varsin hyviä. Edelleen, yleisenä selityksenä rahankäytön ja suoritteiden välisen suhteen heikentymiselle voidaan pitää rataverkon liikenteen ylipäättään voimakasta vaihtelua ajanjaksolla kuljetusten kysynnän vaihteluiden vuoksi. Samaan aikaan rahankäyttö ratalinjojen kunnossapitoon ja korvausinvestointeihin kuitenkin nousi 2000-luvun alkuvuosista.

Myös laajan paneliaineiston (1997–2009) mallit ovat selitysasteeltaan alhaisempaa tasoa kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (panelit 1997–2002 ja 1997–2005; ks. luku 4.1.1). Uusien aineistovuosien lisääminen paneliin heikensi mallien toimivuutta. Korvausinvestointeja kuvaavalla tasomuuttujalla saatiin panelimallin (Panel LS-D) selitysaste korkeammaksi, mutta samalla mallista laskettavat rajakustannukset nousivat.

Jatkossa vuodesta 2010 eteenpäin tehtävät estimoinnit tulevat olemaan mielenkiintoisia siksi, että ne näyttävät, säilyykö kustannusten ja liikennesuoritteiden välisen yhteyden heikentynyt taso havaitunlaisena. Mikäli näin kävisi, on perusteltua arvioida aineistojen käsittelyn ja laskennan kehittämistä tavoilla, jotka mahdollisesti parantavat mallien toimivuutta (ks. luku 6.5).

### Rajakustannukset ja perusmaksun taso

Tässä työssä laskettuja painotettujen rajakustannusten päätuloksia verrataan seuraavaksi ratamaksun perusmaksun tasoon (taulukko 21)<sup>10</sup>. Kuvassa 4 havainnollistetaan sekä aikaisempien että tämän tutkimuksen rajakustannuksia koskevia päätuloksia.

<sup>9</sup> Tarkasteltuina vuosina tehtiin korvausinvestointeja muun muassa seuraavilla vähäliikenteisillä rataosilla: Savonlinna–Huutokoski, Uimaharju–Nurmes, Nurmes–Kontiomäki, Haapamäki–Seinäjoki ja Tornio–Äkäsjoki.

<sup>10</sup> Ilman Panel GMM-tuloksia.

Paneliaineistolla lasketut tulokset ovat perusmaksun tason arvioinnin kannalta keskeisiä siksi, että radanpidon menojen indeksikorjaus tuottaa perusmaksulle nykyhetken arvoja vastaavan vertailutiedon. Edelleen, nyt 13 vuotta kattava laskenta-aineisto tasoittaa aiempia aineistoja laajemmin myös liikenteen määrän, radanpidon toimenpiteiden ja rahoitustason vaihtelua rataverkon eri osilla.

Verrattaessa paneliaineistolla laskettuja tuloksia tavaraj- ja henkilöliikenteen perusmaksun tasoon voidaan todeta, että perusmaksun tason tulisi olla nykyistä korkeampi. Myös tavaraj- ja henkilöliikenteen perusmaksun välisen eron tulisi olla selvästi suurempi kuin nykyisessä perusmaksussa. Tämä erottuu myös poikkileikkausaineistoilla tehdyistä laskelmista. Tulosten mukaan tavaraliikenteen perusmaksun taso tulisi korottaa noin 30 prosenttia ja henkilöliikenteen perusmaksua noin 20 prosenttia (ottamatta huomioon vuoden 2011 aikana tapahtunutta kustannuskehitystä). Poikkileikkausaineistojen tulokset eivät sovellu vertailukohdaksi suoraan, koska tulokset ovat nimellishintaisia, yksittäisiltä vuosilta laskettuja ja mallien toimivuudessa havaittiin haasteita.

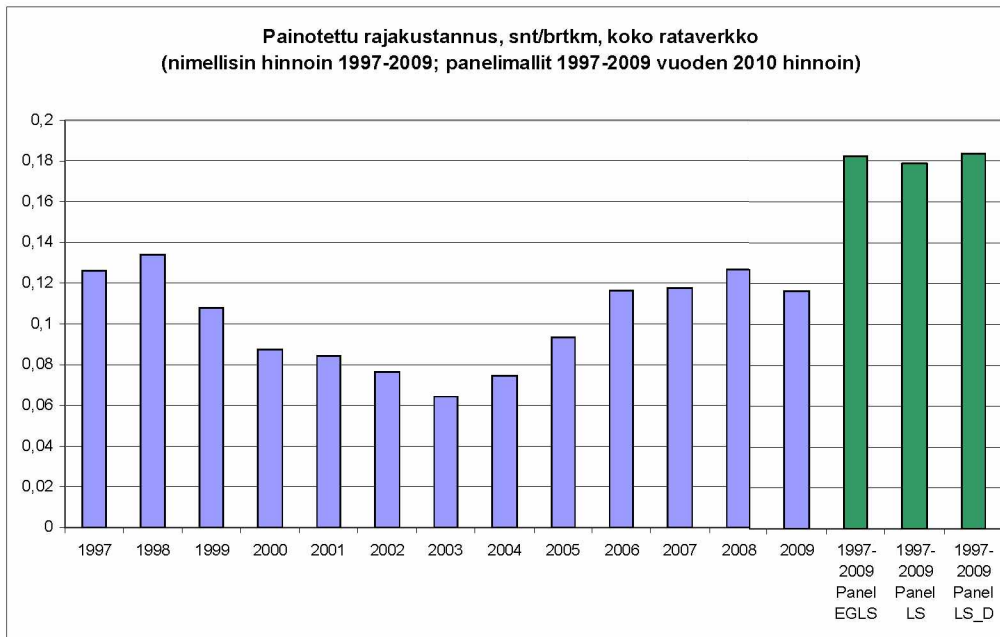
*Taulukko 21. Painotetut rajakustannukset (snt/brtkm) ja ratamaksun perusmaksu*

Eri mallien mukaiset tulokset	snt/brtkm
Paneliaineiston 1997–2009 mukainen painotettu rajakustannus (vuoden 2010 hintataso)	
- rataosat, joilla on tavaraliikennettä	0,1779–0,1828
- rataosat, joilla on henkilöliikennettä	0,1561–0,1611
Poikkileikkausaineistojen 2006–2009 mukainen painotettu rajakustannus (nimellisin hinnoin)	
- rataosat, joilla on tavaraliikennettä	0,1160–0,1474
- rataosat, joilla on henkilöliikennettä	0,0959–0,1251
Ratamaksun perusmaksu	
- tavaraliikenne	0,1350
- henkilöliikenne	0,1308

Kuvasta 4 nähdään, kuinka paneliaineiston ja -mallien mukaiset tulokset (2010 Paneli-estimoinnit) korjaavat painotetun rajakustannuksen arvon tarkasteluajanjaksolla toteutuneen inflaatio- ja hintakehityksen ehdoilla. Panelimallien mukainen tulos tasoittaa myös tarkasteluajanjaksolla tapahtuneita radanpidon rahoitustason vaihteluja. Merkittävää on edelleen se, että panelitulokset tasapainottaa sitä vaihtelua, mitä tapahtuu radanpidon töiden kohdistumisessa eri vuosina eri intensiteetillä liikennöidyille rataosille. Kaikkein vilkkaimmilla rataosilla suuretkaan radanpidon panostukset eivät välttämättä nosta rajakustannuksia erityisen paljoa. Rajakustannukset ovat taas korkeimpia vähäliikenteisillä rataosilla ja varsinkin vuosina, jolloin niillä on tehty korvausinvestointeja.

Mikäli edellä kuvattuja vaihteluja seurattaisiin taajaan myös rataverkon käytön hinnoittelussa, olisi hinnoittelu tempoilevaa. Sen vuoksi vaihteluista tasoitettu kustannustasoltaan ajantasainen tulos on mielekkäämpi peruste perusmaksun tason

määrittelylle. Tosin jatkossa tulisi pohtia tarkemmin kuinka monta vuotta kattava tarkastelu on soveliaain perusmaksun tason määrittelylle. Huomioon tulee ottaa muun muassa korvausinvestointien kierto sekä rataverkon osien tekniset elinkaaret.



Kuva 4. Painotetut rajakustannukset (muuttuvat kokonaiskustannukset); nimellisin hinnoin poikkileikkausmalleille ja vuoden 2010 hinnoin panelimalleille

## 6.5 Laskennan kehittäminen

Estimoinneissa havaittiin regressiomallilla kuvattavan radanpidon menojen sekä liikennesuoritteiden ja raidepituuden välisen yhteyden heikentyvän uusina poikkileikkausvuosina. Mikäli ilmiö toistuu tulevissa laskelmissa, on mietittävä tapoja parantaa estimointituloksia tai on etsittävä uusia menetelmiä mallintaa radanpidon kustannusten sekä rataverkon käytön ja rataverkon ominaisuuksien välisiä suhteita.

Tilastollisen analyysin onnistunut käyttö on riippuvainen muuttujista, joilla tarkasteltavia ilmiöitä mitataan, mittauksen oikeellisuudesta sekä aineiston kattavuudesta. Radanpidon kustannusfunktion muodostamiseen on kuitenkin olemassa riittävästi muuttujia (mittareita) ja suomalaista aineistoa on kansainvälisestäkin verrattuna varsin runsaasti.

Haasteeksi nousee silti se, että rajakustannuslaskennan oletama syy-seuraussuhde radanpidon menojen ja suoritteiden välillä ei pitänyt uusina tarkasteluvuosina enää yhtä vahvasti kuin aikaisemmin. Oletettavasti radanpidon kustannuksia aiheutuu sellaisen päätöksenteon pohjalta, joka ei nojaa välittömästi liikennesuoritteiden määrään, vaan esimerkiksi rataverkon käytettävyyden ylläpitämiseen. Havaitun mukaan haasteet liittyvät ennen kaikkea korvausinvestointeihin. Kunnossapitoa ja ylläpitoinvestointeja kuvaavat funktiot estimoitiin kutakuinkin yhtä toimivina kuin aikaisemmin.



Tulevat tarkasteluvuodet (vuodesta 2010 eteenpäin) tulevat näyttämään, miten perusoletuksena oleva radanpidon muuttuvien kustannusten ja liikennesuoritteiden syy-seuraussuhde kehittyy. Radanpidon panostusten painopisteistä ehkä eniten riippuen perusmaksun tason tilastollinen todistus voi joko edelleen heikentyä tai vahvistua. Suunnan oletettavasti ratkaisee korvausinvestointien painopiste joko vähäliikenteisillä tai runsasliikenteisillä rataosilla. Perusmaksun tason määrittelymenetelmää ei ole syytä muuttaa välittömästi.

Mallien toimivuutta voisi ehkä parantaa arvioimalla rataosittaista aineistoa ja laskentatuloksia niin, että aineistosta poistetaan yhtäältä tilastollisesti vaikeita ja toisaalta käytön puolesta muusta rataverkosta merkittävästi poikkeavia rataosia (esimerkiksi eräät vähemmän säännöllisesti käytetyt tavaraliikenteen rataosat sekä Pasilan eteläpuoliset raiteistot). Tämä saattaisi parantaa mallien toimivuutta. Aineiston määrä (havaintojen lukumäärä) ei siis enää ole niin kriittinen tekijä kuin aikaisempina vuosina. 13 vuoden paneliaineisto on suhteellisen runsas ja kestää rataosien karsinnan. Kokeilujen tekemiseen olisi helppo edetä siksi, että olemassa olevaa aineistoa vain karsitaan hieman.

Kustannusfunktion määrittelyssä eräissä maissa (Ruotsi, Itävalta ja Sveitsi) on tarkasteltu Cobb-Douglas-funktiomuotoa joustavamman Box-Cox-mallin käyttöä (Andersson 2011; Link 2009; Marti ym. 2009). Sitä olisi mahdollista kokeilla myös Suomen aineistoilla. Samalla voitaisiin tehdä kokeiluja esimerkiksi suoritteiden ja radanpidon menojen välisistä dynaamisista viiveistä. Aikasarja-aineiston lisääntyminen lisää viiveiden arvioinnin mahdollisuuksia.

Laskentamenetelmän kehittämiseksi voi syntyä kuitenkin tarve aineiston saatavuuden kautta. Tämän työn aineiston kokoamisen yhteydessä ilmeni mahdollisesti käynnissä oleva radanpidon menojen seurantatapojen ja seurantamahdollisuuksien muutos. Sitä myötä kun kunnossapidon töissä siirrytään aiempaa laajempiin alueurakointikokonaisuuksiin, voi käydä niin, että rataosittaisen seurantatiedon tarkkuustaso heikkenee tai jopa katoaa.

Mikäli ratamaksututkimuksista tuttua radanpidon menojen rataosittaista seurantaa ei pidetä tulevaisuudessa enää yhtä tarkasti yllä, on alettava kehittää tapaa estimoida kustannusfunktioita ja laskea rajakustannuksia karkeamman tason aineistosta. Tästä seuraa haasteita radanpidon menoja selittävien muuttujien muodostamiselle. Siinä missä selitettävä muuttuja (radanpidon menot) voidaan muodostaa helposti summalla laajemmille urakointikokonaisuuksille, voi liikennesuoritteiden sekä rataverkon ominaisuuksien määrittely yksiselitteisinä muuttujina sen sijaan olla aluetasolla vaikeaa.

Suoritemuuttujana tähän saakka käytettyä bruttotonneja per rataosa ei ole mielekäs laskea yhteen eri rataosilta. Bruttotonnikilometrisuorite on sen sijaan yksiselitteisesti määritettävissä esimerkiksi hoitoalueen tasolla. Sen käyttäminen kustannusfunktiossa olisi kuitenkin mahdotonta siksi, että muuttuja ei olisi riittävän itsenäinen toisen perusmuuttujan, tarkastelualueen raidepituuden suhteen.

Edelleen, siirryttäessä tarkastelussa suurempiin aluekokonaisuuksiin joudutaan käsittelemään teknisiltä ja laadullisilta ominaisuuksiltaan tosiasiallisesti heterogeenistä rataverkkoa entistäkin enemmän niiden ominaisuuksia piilottavilla homogeenisilla muuttujilla. Eri rataosien laadullisia ominaisuuksia ei voida laskea yhteen. Tällöin

pyrkimykset laadullisten muuttujien lisäämiseksi kustannusfunktioihin muuttuvat entistäkin vaikeammiksi.

Mikäli kustannusfunktioiden luominen ja estimointi eivät onnistu enää jatkossa, on perusmaksun määrittäminen tehtävä toisin. Yksi vaihtoehto on niin sanotun insinöörimallin mukainen laskenta, jossa junaliikenteen kuormittavuutta koskevan tietämyksen pohjalta luodaan tapoja jyvittää radanpidon menoja henkilö- ja tavarajunille.

## 7 Ratavero

Ratavero otettiin käyttöön ratamaksun osatekijänä vuonna 2003. Tuolloin rautatielakia ja sen ratamaksusäädöksiä uudistettiin uuden direktiivisääntelyn täytäntöönpanon vuoksi. Siihen saakka (rautatielakia edeltäneen rataverkkolain aikana) ratamaksuun perusmaksun ohella sisältyneet kaksi muuta maksutekijää, haittamaksu ja lisämaksu, poistettiin ja niiden sijaan alettiin periä rataveroa. Haittamaksua oli peritty rautatieliikenteen ulkoisten kustannusten kattamiseksi ja lisämaksua tavaraliikenteen aiheuttamien radanpidon kiinteiden kustannusten kattamiseksi.

Ratavero otettiin käyttöön aiempien maksutekijöiden sijaan siksi, että eduskunnan perustuslakivaliokunnan kannanoton mukaan valtiosääntöoikeudellisessa mielessä ainoastaan ratamaksun perusmaksu on oikea maksu (Hallituksen esitysrataveroiksi HE 9 2003 Vp). Haittamaksu ja lisämaksu katsottiin veroksi, koska ne eivät määräydy sellaisten radanpitäjän toimintaa koskevien perusteiden mukaan, jotka täyttäisivät maksun perimiselle asetetut vastikkeellisuuden ja kustannusvastaavuuden ehdot.

Ehdotetusta rautatielaista poistettiin muut kuin perusmaksua koskevat ratamaksusäädökset ja rataverosta luotiin oma laki (rataverolaki 2003/605). Säädettyäessä rataveroa aikaisempien haittamaksun ja lisämaksun pohjalta, pyrittiin säilyttämään ratamaksun kustannusvaikutus ennallaan. Rataveron taso mukautettiin haitta- ja lisämaksun vuosittaiseen kertymään. Lain perusteluissa todetaan, että junaliikenteen ympäristövaikutukset tulee ottaa huomioon veron määräytymisperusteissa.

Uuteen rataverolakiin ei sisällytetty investointimaksua, kapasiteetin varausmaksua ja niukkuusmaksua vastaavia verosäädöksiä, koska niitä ei ratamaksujärjestelmään tuolloin sisällynyt (eikä sisälly edelleenkaan). Perustuslakivaliokunnan kannan mukaan ne kuitenkin olisivat käyttöön otettaessa rataverolain alaisia maksutekijöitä. Sitten rataverolakiin sisällytettiin erillistä Kerava–Lahti-rataosalla perittävää investointiveroa koskeva momentti (laki rataverolain muuttamisesta 1027/2005).

Rataveron nykyiset tasot per liikenteen tyyppi (ks. luku 2) määritettiin siis verolain valmistelun yhteydessä. Veron tason johtamisperusteiksi ehdotettiin henkilö- ja tavaraliikenteen ympäristökustannuksia niin, että se ohjaa liikennöitsijää korvaamaan dieselvetoa sähkövedolla (HE 9 2003 Vp luku 2.2). Tavaraliikenteen ratavero porrastettiin niin, että dieselvetoinen liikenne maksaa korkeampaa veroa kuin sähkövetoinen liikenne. Henkilöliikenteen ratavero määritettiin tavaraliikennettä alhaisemmaksi. Rataveron tuotto otetaan huomioon radanpidon budjetoinnissa ratamaksun perusmaksun tuoton ohella.

Sitten rataveron tasoa ei ole muutettu eikä arvioitu ainakaan verolain perusteluissa viitattujen ympäristöperusteiden mukaisesti. On syytä olettaa, että junaliikenteen ympäristökustannukset ovat muuttuneet 10 vuoden aikana. Junaliikenteen sähköistyminen on vähentänyt dieselvedon päästöjä ja myös kaluston uudistuminen lienee vaikuttanut päästömääriin sekä niiden kohdentumiseen taajamissa ja haja-asutusalueilla (Tervonen 2010). Myös eri päästöjen ympäristökustannuksia arvioidaan parasta aikaa uudestaan. Koska liikenteen päästökustannusten päivitysselvitykset valmistuvat keväällä 2012, on junaliikenteen ympäristökustannuksia mahdollista arvioida pian tarkemmin.

Rataveron taustalla olleen lisämaksun perustetta, junaliikenteen aiheuttamien radanpidon kiinteiden kustannusten kattamista, tulisi myös arvioida tarkemmin. Sille ei ole määritelty kriteerejä rataverolaissa, mutta rataverosta puhuttaessa ympäristöperusteita useammin viitataan nimenomaan radanpidon kiinteiden kustannusten kattamiseen.

Voidaan siis kysyä, tulisiko rataverolla olla nykyistä selkeämmät määräytymisperusteet, joiden mukaan rataveron tasoa voidaan aika ajoin arvioida ja muuttaa, ja mitkä nämä perusteet ylipäättään ovat?

Pohdintaan liittyy edelleen myös ratamaksu- ja kapasiteettidirektiiviä sekä muita 1. rautatiepaketin direktiivejä koskeva uudistusprosessi. Jäsenvaltioiden vuoden 2011 käsittelyissä hyväksymän puitedirektiiviehdotuksen mukaan direktiivin luettelemat ennestään tutut ratamaksutekijät (ks. luku 2) kuuluvat kaikki aiempaa selvemmin ilmaistusti radanpitäjän hallinnassa olevaan maksutekijävalikoimaan. Radanpitäjä voi siis käyttää niitä niin radanpidon kustannusten kattamisessa kuin liikenteen ohjauskeinona oman harkintansa mukaan (direktiivissä määritetyin reunaehdoin).<sup>11</sup>

Direktiivin ratamaksusääntelyyn verrattuna valtiovarainministeriön hallinnoima ratavero ei ylipäättään voisi olla radanpitäjän perimän ratamaksun osatekijä, vaan yleisempää liikenteen verottamista. Tällä hetkellä Liikennevirasto kuitenkin perii rataveroa muun ratamaksun yhteydessä, mutta tilittää tulot valtiovarainministeriölle. Liikennevirastolla on kuitenkin oikeus päättää rataverolain määrittämien ehtojen mukaisista rataveron määräaikaisista alennuksista liikennöitsijän hakemuksen perusteella. Yleensä ratamaksun kehittämistä koskevissa pohdinnoissa ratavero otetaan huomioon ratamaksukokonaisuuden osatekijänä. Tämä rajoittaa Liikenneviraston omiin lähtökohtiin perustuvaa ratamaksun kehittämistä.

Rataveron uudelleenarviointi olisi siis tarpeen niin direktiivistä tulevan ratamaksusääntelyn, liikenteen vero- ja maksupoliittisen luonteen kuin tason määrittämis- ja tarkistuspäätösten täsmennyksen näkökulmista. Tässä raportissa kysymyksiin ei esitetä ratkaisuehdotuksia.

---

<sup>11</sup> Uudistettavan direktiivin hinnoittelusäädöksiin on ehdotettu uutta ympäristöohjausta joko meluun liittyvien haittamaksujen tai meluporrastettujen infrastruktuurimaksujen muodossa. Muita hinnoittelua koskevia muutoksia direktiivissä ei tiettävästi tule olemaan. Direktiivin odotetaan tulevan voimaan vuonna 2012 ja kansalliseen täytäntöönpanoon on valmistumisesta lukien aikaa 24 kuukautta.

## 8 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä estimoitiin radanpidon muuttuvia kustannuksia selittävät kustannusfunktiot ja kustannusfunktioiden avulla laskettiin rataosien liikennemäärillä painotetut rajakustannukset uusilla vuosien 2006–2009 poikkileikkausaineistoilla. Poikkileikkauksien estimoinnit ja rajakustannuslaskelmat tehtiin kunkin vuoden nimellisin hinnoin.

Aikaisempien tutkimusten aineistot ja uudet aineistot yhdistettiin vuodet 1997–2009 kattavaksi 13 vuoden paneliaineistoksi, jossa radanpidon muuttuvat kustannukset muunnettiin kaikilta vuosilta kustannusindeksillä vuoden 2010 hintatasoon. Myös tällä aineistolla estimoitiin kustannusfunktiot ja laskettiin painotetut rajakustannukset.

Uusia tarkasteluvuosia koskevat laskenta-aineistot voitiin koota aiempia tutkimuksia vastaavalla tarkkuustasolla. Tausta-aineistot saatiin liikennöitsijän Liikennevirastolle toimittamasta junaliikenteen suoriteseurannasta sekä Liikenneviraston menoseurannasta ja rataverkon verkkoselostuksesta. Lopullisesta laskenta-aineistosta poistettiin aikaisempien tutkimusten tavoin muutamia tiedoiltaan puutteellisia rataosia.

Radanpidon muuttuvina kustannuksina tarkasteltiin ratalinjoille kohdistuneita kunnossapidon, ylläpitoinvestointien ja korvausinvestointien menoja. Radanpidon kustannuksia selittävinä suoritettietoina koottiin rataosille kirjatut lähijunaliikenteen, kaukojunaliikenteen ja tavarajunaliikenteen bruttotonnit. Radanpidon kustannuksia selittävinä rataosien teknisenä ominaisuutena tarkasteltiin pääasiassa raidepituuksia, mutta apumuuttujina käytettiin joissain estimoinneissa myös muita rataosien ominaisuuksia.

Kustannusfunktion selittävien muuttujien (rataosien suoritteet ja ominaisuudet) valinta perustui aiempien tutkimusten kokemuksiin, joita tukevat myös kansainväliset tutkimustulokset. Muuttujakokeiluja tehtiin tällä kertaa aiempia tutkimuksia vähemmän. Regressiomallin estimointimenetelminä sovellettiin pienimmän neliösumman menetelmää (LS), yleistettyä momenttimenetelmää (GMM) sekä periodieffektimenetelmää (EGLS).

Tulosten mukaan poikkileikkausvuosien 2006–2009 aineistoilla estimoidut niin sanotut perusmuotoiset kustannusfunktiot toimivat jonkin verran heikommin kuin edellisissä tutkimuksissa. Tämä tarkoittaa alhaisempia selitysasteita, ja rataosien liikennesuoritteiden (bruttotonnien) sekä radanpidon muuttuvien kokonaiskustannusten välinen jousto aleni aikaisempiin tutkimustuloksiin verrattuna.

Havaittu kehitys johtuu siitä, että viime vuosina on kohdennettu rahaa korvausinvestointeina selvästi enemmän vähäliikenteisille rataosille, toisin kuin 2000-luvun alkupuolella, jolloin korvausinvestointeja tehtiin enemmän vilkkaammilla rataverkon osilla. Kun rahankäyttö lisääntyy vähemmän käytetyillä rataosilla, heikkenee liikennesuoritteiden ja rahankäytön välinen tilastollinen yhteys väijäämättä. Vastaavalla tavalla vaikuttivat myös tavaraliikenteen vuosittaiset voimakkaat vaihtelut sekä vuonna 2009 tapahtunut tavaraliikenteen liikennesuoritteiden väheneminen noin neljäsosalla vuoden 2008 verrattuna. Radanpidon rahoitustaso ei reagoi nopeasti ja samansuuntaisesti liikenteen vaihtelujen kanssa.

Laskentamenetelmä on joka tapauksessa edelleen toimiva eikä sitä ole syytä muuttaa. Tulevat estimoinnit kertovat, minkälaisena liikennesuoritteiden ja rahankäytön välinen tilastollinen yhteys jatkuu vuodesta 2010 eteenpäin. Mikäli mallien toimivuutta halutaan kehittää yksinkertaisin tavoin, on mahdollista poistaa aineistosta yhtäältä tilastollisesti vaikeita ja toisaalta käytöltään merkittävästi poikkeavia rataosia. Tämä saattaa parantaa mallien toimivuutta. Samassa yhteydessä olisi mielekästä tehdä joi-tain kansainvälisissä tutkimuslähteissä esitettyjä laskentamenetelmään liittyviä es-timointikokeiluja.

Tulosten mukaan poikkileikkausvuosien 2006–2009 kustannusfunktioista lasketut rataosien liikennemäärillä painotetut rajakustannukset olivat niillä rataosilla, joilla kulkee tavaraliikennettä 0,1160–0,1474 snt/brtkm (nimellisin hinnoin). Rataosilla, joilla kulkee henkilöliikennettä, painotetut rajakustannukset olivat 0,0959–0,1251 snt/brtkm (nimellisin hinnoin). Nimellishintaiset poikkileikkaustulokset eivät kuiten-kaan ole paras perusmaksun tason arviointiperuste, vaan vertailulaskelmat tulee teh-dä kiinteähintaisena tarkasteluna ja pidemmällä aikasarja-aineistolla.

13 vuoden paneliaineistolla estimoidusta kustannusfunktioista lasketut rajakustan-nukset olivat tavaraliikenteen käyttämille rataosille 0,1779–0,1828 snt/brtkm ja hen-kilöliikenteen käyttämille rataosille 0,1561–0,1611 snt/brtkm vuoden 2010 hintatasos-sa. Näissä tuloksissa tasoittuvat radanpidon menojen kustannustasokorjauksen ohel-la myös radanpidon rahoitustason ja verkollisen kohdentumisen sekä liikenteen mää-rän vaihtelut 13 vuoden ajalta.

Ratamaksun perusmaksun tasoon verrattuna tulokset viittaavat siihen, että tavaralii-kenteen perusmaksua tulisi korottaa noin 30 prosenttia ja henkilöliikenteen perus-maksua noin 20 prosenttia. Tavara- ja henkilöliikenteen perusmaksut tulisi eriyttää toisistaan nykyistä selkeämmin.

Taloudellisen laskenta-aineiston kokoamiseen liittyy jatkossa tarkkuustasoa koskevia haasteita. Tähän saakka radanpidon menot on voitu määrittää tutkimushankkeissa vuosille noin 90 erillisen rataosan tarkkuudella. Kun kunnossapidon tilaamisessa siir-rytään laajempia kokonaisuuksia kattavaan alueurakointimalliin, voi menojen seuran-nan tarkkuus heikentyä. Urakoitsijat eivät välttämättä ilmoita kunnossapidon meno-jen kohdentumista rataosien tarkkuudella. Tämä seikka suositellaan otettavan esille alueurakoiden tilaamiskäytäntöjen sekä menojen seurannan kehittämisessä. Mikäli tietojen seurannan tarkkuus muuttuu esimerkiksi kunnossapitoalueiden tasolle, on kustannusfunktioiden estimoinnin, rajakustannusten laskennan ja perusmaksun ta-son määrittämisen perusteita arvioitava uudestaan.

Työssä esitetyn lyhyen pohdinnan mukaan rataveron uudelleenarviointi olisi tarpeen rataveron vero- ja maksupoliittisen luonteen sekä veron tason määrittämisperusteiden selventämisen näkökulmista. Valtiovarainministeriön hallinnoima ratavero rajoittaa ratamaksun itsenäistä kehittämistä Liikennevirastossa. Rataveron tasolle ei myös-kään ole olemassa selkeitä määrittämis- ja tason tarkistamisperusteita. Aikoinaan rata-veron tasoon vaikuttaneet perusteet ovat arvion mukaan vanhentuneet. Rataveron kehittäminen edellyttää kuitenkin lainsäädännöllisistä syistä laajempaa yhteistyötä liikenne- ja viestintäministeriön, valtiovarainministeriön ja Liikenneviraston kesken.

## Lähteet

- Andersson, M. (2005). Econometric models for railway infrastructure costs in Sweden 1999–2002. Third Conference on Railroad Industry Structure, Competition, and Investments. 20–22 October 2005, Stockholm School of Economics.
- Andersson, M. (2006). Marginal cost pricing of railway infrastructure operation, maintenance and renewal in Sweden - from policy to practice via existing data. Working paper. VTI.
- Andersson, M. (2009). Marginal cost of railway infrastructure wear and tear for freight and passenger trains in Sweden. VTI.
- Andersson, M. (2010). Marginal cost of railway infrastructure costs in a dynamic context. VTI.
- Andersson, M., Smith, A., Wikberg, Å & Wheat, P. (2010). The marginal cost of railway track renewals: A sample selection modelling approach. VTI.
- European Commission (1999). Calculating Transport Infrastructure Costs. Final report of the Expert Advisors to the High Level Group on Infrastructure Charging (Working Group 1, April 28, 1999).
- Guadry, M. & Quinet, E. (2003). Rail Track Wear & Tear Costs by Traffic Class in France. Working Paper. AJD & INRETS.
- Idström, T. (2002). Suomen ratamaksun uudistaminen – ekonometrinen analyysi rataverkon käytön rajakustannuksista. Pro gradu-tutkielma. Taloustieteiden tiedekunta. Jyväskylän yliopisto.
- Johansson, P. & Nilsson, J-E. (2001). An Economic Analysis of Track Maintenance Costs. Julkaisematon artikkeli. IFAU – Office of Labour Market Policy Evaluation. VTI – Road and Transport Research Institute.
- Johansson, P. & Nilsson, J-E. (2004). An Economic Analysis of Track Maintenance Costs. Transport Policy 11 (2004) 277–286.
- Kennedy, P. (2003). A Guide to Econometrics. Fifth Edition. Blackwell Publishing, s. 309–315.
- Liikenne- ja viestintäministeriö (2002). Ratamaksuperiaatteiden uudistaminen. Mietintöjä ja muistioita B 9/2002.
- Liikennevirasto (2011). Suomen rautatietilasto 2011. Liikenneviraston tilastoja 5/2011.
- Link, H. (2009). CATRIN. Annex 1A – Marginal costs of rail maintenance in Austria. Funded by Sixth Framework Programme. VTI, Stockholm, February 2009.
- Marti, M., Neuenschwander, R. & Walker, P. (2009). CATRIN. Annex 1B – Track maintenance and renewal costs in Switzerland. Funded by Sixth Framework Programme. VTI, Stockholm, February 2009.

Maddala, G.S. (1992). *Introduction to Econometrics*. Second Edition. New York: Macmillan Publ., 68-80.

McCarthy, P- S. (2001). *Transportation Economics. Theory and Practice: A case study approach*. Blackwell Publ., 165-169

Meriläinen, A., Tervonen, J., Kiiskilä, K. & Teerihalmel, H. (2011). Lahden moottoritien ja Kerava–Lahti-oikoradan jälkeen-vaiheen vaikutusselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 34/2011.

Mukula, M. & Iikkanen, P. (2010). Ratapihamaksun kehittäminen. Liikennevirasto.  
Munduch, G., Pfister A., Sögner, L. & Stiassny, A. (2002). Estimating Marginal Costs for the Austrian Railway System. Working Paper no. 78. Department of Economics Working Paper Series. Vienna University of Economics & B.A.

Ongaro, D. & Iwnicki, S. (2009). CATRIN. Annex 2 – Railway Infrastructure Wear and Tear for Freight and Passenger Trains in Sweden. Funded by Sixth Framework Programme. VTI, Stockholm, February 2009.

Pels, E. & Rietveld, P. (2000). Cost functions in transport. *Handbook of Transport Modelling* eds. by Hensher, D. A. ja Button, K. J. Amsterdam: Pergamon. 321-333.  
Pollak, R. A., Sickles, R. C. & Wales, T. J. (1984). The CES-Translog: Specification and estimation of a new cost function. *The Review of Economics and Statistics* 66(4), 602-607.

Quinet, E. (2009). CATRIN. D8. Rail cost allocation for Europe. Annex 1Diii – Analysis of operation costs in France. Funded by Sixth Framework Programme. VTI, Stockholm, February 2009.

Tervonen, J. & Idström, T. (2004). Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2002. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 5/2004.

Tervonen, J. & Pekkarinen, S. (2007). Radan kulumisen rajakustannukset 1997–2005. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 2/2007.

Tervonen, J. (2010). Liikenteen päästökustannusten päivittäminen. Esiselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 46/2010.

Wheat & Smith (2006). Assessing the marginal infrastructure wear and tear costs for Great Britain's railway network. ITS Leeds.

Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge, MA, London, England. The MIT Press.





